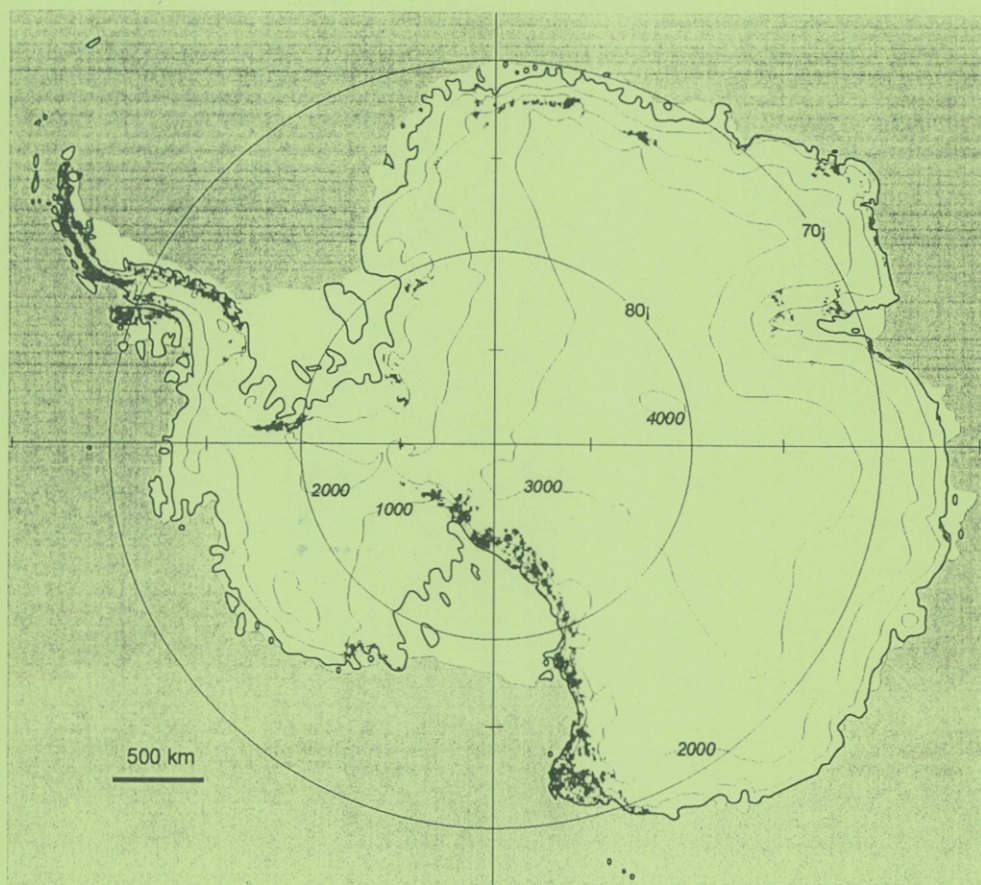


第28回極域地学シンポジウム プログラム・講演要旨

The 28th Symposium on Polar Geosciences
Program and Abstracts

16-17 October 2008



国立極地研究所

National Institute of Polar Research
Tokyo, Japan

第28回 極域地学シンポジウム 日程表 (2008年度)

10月16日 (木) 16 Oct. (Thursday)	10月17日 (金) 17 Oct. (Friday)
<p>国立極地研究所長挨拶 Opening address by Director-General, NIPR 10:00 - 10:05</p>	<p>V. 南極氷床・南大洋変動史の復元と地球環境変動システムの解明 (2) History and Environmental change on and around Antarctica (2) 7講演 (17-23) 10:00-12:20 (140分) 座長：高田 将志・奈良女子大 前佐 英明・広島大 Chair: Takada, M., Nara Woman's Univ. Maemoku, H., Hiroshima Univ.</p>
<p>I. 極域から見た超大陸の形成と分裂のダイナミクス (1) Evolution and breakup of super-continent viewed from polar region (1) 6講演 (1-6) 10:05-12:05 (120分) 座長：大和田正明・山口大 本吉 洋一・極地研 Chair: Owada, M., Yamaguchi Univ. Motoyoshi, Y., NIPR</p>	
<p align="center"><i>昼食 Lunch</i> 12:05 - 13:10</p>	<p align="center"><i>昼食 Lunch</i> 12:20 - 13:20</p>
<p>II. 南極氷床・南大洋変動史の復元と地球環境変動システムの解明 (1) History and Environmental change on and around Antarctica (1) 4講演 (7-10) 13:10-14:30 (80分) 座長：澤柿 教伸・北海道大 Chair: Sawagaki, T., Hokkaido Univ.</p> <p>III. ポスター説明 Poster Presentations 18講演 (101P-118P) 14:30-15:30 (60分) 座長：土井 浩一郎・極地研 Chair: Doi, K., NIPR</p>	<p>VI. 極域から見た超大陸の形成と分裂のダイナミクス (2) Evolution and breakup of super-continent viewed from polar region (2) 5講演 (24-28) 13:20-15:00 (100分) 座長：小山内 康人・九州大 外田 智千・極地研 Chair: Osanai, Y., Kyusyu Univ. Hokada, T., NIPR</p>
<p align="center"><i>休憩 Coffee Break</i> 15:30 - 15:45</p>	<p align="center"><i>休憩 Coffee Break</i> 15:00 - 15:15</p>
<p>IV. 測地・固体地球物理 Geodesy and geophysics 6講演 (11-16) 15:45-17:45 (120分) 座長：金尾 政紀・極地研 澁谷 和雄・極地研 Chair: Kanao, M., NIPR Shibuya, K., NIPR</p>	<p>VII. 極域から見た超大陸の形成と分裂のダイナミクス (3) Evolution and breakup of super-continent viewed from polar region (3) 6講演 (29-34) 15:15-17:15 (120分) 座長：野木 義史・極地研 船木 實・極地研 Chair: Nogi, Y., NIPR Funaki, M., NIPR</p>
<p align="center"><i>懇親会 Conference Party</i> 18:00 - 19:00</p>	

第28回 極域地学シンポジウム プログラム (2008年度)
Program for the 28th Symposium on Polar Geosciences, 2008
16 October (Thursday, 10:00—17:45) & 17 October (Friday, 10:00—17:15)

開会	(10:00 — 10:05)	所長挨拶	国立極地研究所長：藤井 理行
		Opening address	Director-General, National Institute of Polar Research : Fujii, Y.

I. 極域から見た超大陸の形成と分裂のダイナミクス (1)

Evolution and breakup of super-continent viewed from polar region (1)

座長：大和田正明・山口大
 本吉 洋一・極地研
 Chair : Owada, M., Yamaguchi Univ.
 Motoyoshi, Y., NIPR

1 (10:05 — 10:25) Pan-African collision metamorphism in the Sør Rondane Mountains, Eastern Dronning Maud Land, East Antarctica

小山内 康人	Osanai, Y.	九州大	Kyusyu Univ.
豊島 剛志	Toyoshima, T.	新潟大	Niigata Univ.
馬場 壮太郎	Baba, S.	琉球大	Univ. of Ryukyus
外田 智千	Hokada, T.	極地研	NIPR
中野 伸彦	Nakano, N.	九州大	Kyusyu Univ.
足立 達朗	Adachi, T.	総研大	GUAS
大和田 正明	Owada, M.	山口大	Yamaguchi Univ.
白石 和行	Shiraishi, K.	極地研	NIPR
本吉 洋一	Motoyoshi, Y.	極地研	NIPR

2 (10:25 — 10:45) 東南極・セールロンダーネ山地アウストカンパーネ地域に分布する炭酸塩岩および関連岩石の記載岩石学および岩石化学的特徴

Petrographical and geochemical signatures of carbonates and related rocks from the Austkampane in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica

中野 伸彦	Nakano, N.	九州大	Kyusyu Univ.
小山内 康人	Osanai, Y.	九州大	Kyusyu Univ.
外田 智千	Hokada, T.	極地研	NIPR
豊島 剛志	Toyoshima, T.	新潟大	Niigata Univ.
馬場 壮太郎	Baba, S.	琉球大	Univ. of Ryukyus
足立 達朗	Adachi, T.	総研大	GUAS
角縁 進	Kakubuchi, S.	佐賀大	Saga Univ.

3 (10:45 — 11:05) 東南極セールロンダーネ山地アウストカンパーネに産する変成岩類と優白質岩脈類
 Metamorphic rocks and leucocratic veins from Austkampane, Sør Rondane Mountains, East Antarctica

外田 智千	Hokada, T.	極地研	NIPR
足立 達朗	Adachi, T.	総研大	GUAS
中野 伸彦	Nakano, N.	九州大	Kyusyu Univ.
小山内 康人	Osanai, Y.	九州大	Kyusyu Univ.
豊島 剛志	Toyoshima, T.	新潟大	Niigata Univ.
馬場 壮太郎	Baba, S.	琉球大	Univ. of Ryukyus

4 (11:05 — 11:25) 東南極ドロンピングモードランド東部のセールロンダーネ山地中央部において南-北圧縮と北東-南西伸張によって形成された地質構造

Macroscopic geological structures resulting from N-S compression and NE-SW extension in the central part of the Sør Rondane Mountains, eastern Dronning Maud Land, East Antarctica

豊島 剛志	Toyoshima, T.	新潟大	Niigata Univ.
小山内 康人	Osanai, Y.	九州大	Kyusyu Univ.
馬場 壮太郎	Baba, S.	琉球大	Univ. of Ryukyus
外田 智千	Hokada, T.	極地研	NIPR
中野 伸彦	Nakano, N.	九州大	Kyusyu Univ.
足立 達朗	Adachi, T.	総研大	GUAS

第28回 極域地学シンポジウム プログラム (2008年度)

- 5 (11:25 - 11:45) 東南極セールロンダーネ山地・ブラットニーバネに産する珪長質片麻岩に含まれる石英中のTi含有量の評価
Analysis method of titanium contents in quartz in felsic gneiss from Brattnipene, the Sor Rondane Mountains, East Antarctica
- | | | | |
|--------|---------------|-----|------------------|
| 足立 達朗 | Adachi, T. | 総研大 | GUAS |
| 外田 智千 | Hokada, T. | 極地研 | NIPR |
| 小山内 康人 | Osanai, Y. | 九州大 | Kyusyu Univ. |
| 豊島 剛志 | Toyoshima, T. | 新潟大 | Niigata Univ. |
| 馬場 壮太郎 | Baba, S. | 琉球大 | Univ. of Ryukyus |
| 中野 伸彦 | Nakano, N. | 九州大 | Kyusyu Univ. |

- 6 (11:45 - 12:05) Proterozoic thermal events in the Eastern Ghats Belt and their implication on the Indo-Antarctic correlation
- | | | | |
|-------------|-------------|-----|-------------------------|
| サンカー・ボース | Bose, S. | 横国大 | Yokohama National Univ. |
| 有馬 眞 | Arima, M. | 横国大 | Yokohama National Univ. |
| ダニエル・ダункリー | Dunkley, D. | 極地研 | NIPR |

(12:05 - 13:10) 昼食 Lunch

II. 南極氷床・南大洋変動史の復元と地球環境変動システムの解明 (1) 座長：澤柿 教伸・北海道大 History and Environmental change on and around Antarctica (1) Chair : Sawagaki, T., Hokkaido Univ.

- 7 (13:10 - 13:30) 南極海ウィルクスランド沖コアの微化石と古地磁気の研究
Study of micropaleontology and paleomagnetism on the sediment from Antarctic Sea
- | | | | |
|-------|--------------|----------|----------------------|
| 横山 美穂 | Yokoyama, M. | 富山大 | Univ. of Toyama |
| 酒井 英男 | Sakai, H. | 富山大 | Univ. of Toyama |
| 関本 勝久 | Sekimoto, K. | 地質科学リサーチ | GSR |
| 遠藤 邦彦 | Endo, K. | 日大 | Nihon Univ. |
| 松岡 東香 | Matsuoka, H. | 筑波学院大 | Tsukuba Gakuin Univ. |
- 8 (13:30 - 13:50) 白鳳丸KH07-4次航海にて南大洋インド洋区から採取された海洋コアの非破壊物性解析と岩相層序
Non-destructive measurements and sediment lithology of three marine cores from the Indian sector of the Southern Ocean during the R/V Hakuho-Maru KH07-4 cruise
- | | | | |
|--------|--------------|-----|----------------------|
| 池原 実 | Ikehara, M. | 高知大 | Kochi Univ. |
| 香月 興太 | Katsuki, K. | 釜山大 | Pusan National Univ. |
| ブーケンキム | Khim, B. K. | 釜山大 | Pusan National Univ. |
| 菅沼 悠介 | Suganuma, Y. | 東京大 | Univ. of Tokyo |
| 三浦 英樹 | Miura H. | 極地研 | NIPR |
| 横山 祐典 | Yokoyama Y. | 高知大 | Kochi Univ. |
- 9 (13:50 - 14:10) 相対古地磁気強度を用いた南極海リュツォ・ホルム湾沖海底堆積物の年代推定
A relative paleointensity record from the Lutzow-Holm Bay, Antarctic
- | | | | |
|-------|--------------|-----|-------------|
| 菅沼 悠介 | Suganuma, Y. | 東京大 | Tokyo Univ. |
| 池原 実 | Ikehara, M. | 高知大 | Kochi Univ. |
| 三浦 英樹 | Miura H. | 極地研 | NIPR |
- 10 (14:10 - 14:30) 地中レーダーを用いたスバルバルのアイスウェッジ及びソイルウェッジの分布と内部構造の解析
Distribution and Structure of Ice and Soil Wedges in Svalbard, Sounded with the Ground-Penetrating Radar
- | | | | |
|-------|--------------|-----|------------------|
| 渡邊 達也 | Watanabe, T. | 筑波大 | Univ. of Tsukuba |
| 松岡 憲知 | Matsuoka, N. | 筑波大 | Univ. of Tsukuba |

Ⅲ. ポスター説明 Poster Presentations
(14:30 - 15:30)

座長：土井 浩一郎・極地研
Chair: Doi, K., NIPR

- | | | | | | |
|------|---|--|--|----------------------------------|--|
| 101P | 南大洋オーストラリア区における過去30万年間の漂流岩屑 (IRD) 変動
Variations of ice rafted debris (IRD) during the past 300kyr in the Australian sector of the Southern Ocean | 西川 舞
池原 実
村山 雅史 | Nishigawa, M.
Ikehara, M.
Murayama, M. | 高知大
高知大
高知大 | Kochi Univ.
Kochi Univ.
Kochi Univ. |
| 102P | 東南極ウィルクスランド沖の堆積物の珪藻化石と磁気特性について
Diatom fossils and rock-magnetic properties of the marine sediments from off Wilkesland, East Antarctica | 菊池 奈緒美
中井 睦美 | Kikuchi, N.
Nakai, M. | 大東文化大
大東文化大 | Daito-Bunka Univ.
Daito-Bunka Univ. |
| 103P | セーロンダーネ山地第50次地学隊の野外調査
Focus of the 50th-JARE geological field work in the Sor Rondane Mountains, East Antarctica | 大和田 正明
志村 俊昭
柚原 雅樹
東田 和弘
亀井 淳志 | Owada, M.
Shimura, T.
Yuhara, M.
Tsukada, K.
Kamei, A. | 山口大
新潟大
福岡大
名古屋大
島根大 | Yamaguchi Univ.
Niigata Univ.
Fukuoka Univ.
Nagoya Univ.
Shimane Univ. |
| 104P | 国際極年における東南極大陸での広帯域地震計アレイ観測による地球深部研究 - AGAP/GAMSEIS -
Broadband seismic deployments in East Antarctica: IPY contribution to understanding the Earth's deep interior - AGAP/GAMSEIS - | 金尾 政紀
田中 聡
坪井 誠司 | Kanao, M.
Tanaka, S.
Tsuboi, S. | 極地研
海洋研究開発機構
海洋研究開発機構 | NIPR
JAMSTEC
JAMSTEC |
| 105P | 東南極ナビア岩体, Mt. Cronusにおける始生代の火成作用について
Archaean magmatism of the Mt. Cronus in the Napier Complex, East Antarctica | 加々島 慎一
佐藤 寛子 | Kagashima, S.
Sato, H. | 山形大
山形大 | Yamagata Univ.
Yamagata Univ. |
| 106P | ランドベースの南極氷床による氷河底堆積・変形作用と氷床ダイナミクス・変動史との関連 - 東南極リュツォ・ホルム湾・スカルプスネス露岩域からのマクロスケールの証拠 -
Subglacial sedimentation and deformation beneath the land-based Antarctic Ice Sheet and its relationships with glacial dynamics and history: a macroscale evidence from the Skarvsnes ice-free area, Lützow-Holm Bay, East Antarctica | 岩崎 正吾
三浦 英樹
前杵 英明 | Iwasaki, S.
Miura, H.
Maemoku, H. | 広島大
極地研
広島大 | Hiroshima Univ.
NIPR
Hiroshima Univ. |
| 107P | 地形・表層堆積物から推定される中期完新世における東南極氷床変動の可能性
A possibility of glacial fluctuation in the East Antarctic Ice Sheet during mid Holocene deduced from the landforms and unconsolidated subsurface sediments | 前杵 英明
三浦 英樹
岩崎 正吾 | Maemoku, H.
Miura, H.
Iwasaki, S. | 広島大
極地研
広島大 | Hiroshima Univ.
NIPR
Hiroshima Univ. |
| 108P | 南極海ウィルクスランド沖堆積物の古地磁気研究
Paleomagnetic study of the deep-sea sediments off Wilkes Land, east Antarctica | 酒井 英男
谷川 喜彦
船木 實
松岡 東香 | Sakai, H.
Tanigawa, Y.
Funaki, M.
Matsuoka, H. | 富山大
富山大
極地研
筑波学院大 | Toyama Univ.
Toyama Univ.
NIPR
Tsukuba Gakuin Univ. |

第28回 極域地学シンポジウム プログラム (2008年度)

109P	<p>東南極リュツォ・ホルム湾域での広帯域地震計アレイ観測による地球内部と環境変動の研究 -国際極年 2007-2008-</p> <p>Study on the internal structure and variations in surface environment of the Earth, revealed by broadband seismic array deployments around the Lützow-Holm Bay Region, East Antarctica IPY 2007-2008 -</p>	<p>金尾 政紀 Kanao, M. 極地研 NIPR 臼井 佑介 Usui, Y. 愛媛大 Ehime Univ. 井上 智史 Inoue, T. 愛媛大 Ehime Univ. 山田 朗 Yamada, A. 愛媛大 Ehime Univ.</p>
110P	<p>2008年中国四川地震の昭和基地の広帯域地震計記録と理論地震波形記録との比較 Comparisons of synthetic seismograms for the 2008 Sichuan earthquake and observed seismograms at Showa station</p>	<p>坪井 誠司 Tsuboi, S. 海洋研究開発機構 JAMSTEC 中村 武史 Nakamura, T. 極地研 NIPR</p>
111P	<p>リュツォホルム湾沖における海底圧力の季節変動 Seasonal variations in ocean bottom pressure off Lützow-Holm Bay, Antarctic Ocean</p>	<p>早河 秀章 Hayakawa, H. 極地研 NIPR 青山 雄一 Aoyama, Y. 極地研 NIPR 土井 浩一郎 Doi, K. 極地研 NIPR 野木 義史 Nogi, Y. 極地研 NIPR 渋谷 和雄 Shibuya, K. 極地研 NIPR</p>
112P	<p>南極昭和基地におけるインフラサウンド観測 Infrasound Observation at Syowa station, Antarctica</p>	<p>石原 吉明 Ishihara, Y. 国立天文台 NAOJ 山本 真行 Yamamoto, M. 高知工科大 Kochi Univ. of Tech. 戸田 茂 Toda, S. 愛知教育大 Aichi Univ. of Edu. 青山 雄一 Aoyama, Y. 極地研 NIPR 金尾 政紀 Kanao, M. 極地研 NIPR 松島 健 Matsushima, T. 九州大 Kyusyu Univ.</p>
113P	<p>部分熔融を伴う高温変成岩の温度圧力履歴とザクロ石のリンによる組成累帯構造とリン酸塩鉱物の挙動の関係 Linking <i>P-T</i> path with the behavior of phosphates and development of phosphorus zoning in garnet during high-temperature metamorphism accompanying partial melting</p>	<p>河上 哲生 Kawakami, T. 京都大 Kyoto Univ. 外田 智千 Hokada, T. 極地研 NIPR</p>
114P	<p>磁鉄鉱-チタン鉄鉱地質温度計の超高温変成岩への応用 Application of magnetite-ilmenite geothermometry to ultrahigh-temperature metamorphic rocks</p>	<p>清水 恒子 Shimizu, H. 筑波大 Univ. of Tsukuba 角替 敏昭 Tsunogae, T. 筑波大 Univ. of Tsukuba</p>
115P	<p>南インドPalghat-Cauveryせん断帯に産するザクロ石-単斜輝石岩の流体包有物と温度圧力履歴 Fluid inclusions and <i>P-T</i> trajectory of garnet-clinopyroxene rocks from the Palghat-Cauvery Shear Zone System, southern India</p>	<p>西宮 ゆき Nishimiya, Y. 筑波大 Univ. of Tsukuba 角替 敏昭 Tsunogae, T. 筑波大 Univ. of Tsukuba M. サントッシュ Santosh, M. 高知大 Kochi Univ.</p>

第28回 極域地学シンポジウム プログラム (2008年度)

116P	超高温変成岩に含まれる流体包有物の炭素同位体分析 (予報) Carbon isotope analysis of fluid inclusions in ultrahigh-temperature metamorphic rocks (preliminary report)	角替 敏昭	Tsunogae, T.	筑波大	Univ. of Tsukuba
117P	東南極プリンスオラフ海岸、日の出岬に産出する泥質片麻岩について Pelitic gneisses at Cape Hinode on the Prince Olav Coast, East Antarctica	阿部 公一 廣井 美邦	Abe, K. Hiroi, Y.	千葉大 千葉大	Chiba Univ. Chiba Univ.
118P	東南極ナピア岩体Mt.Riiser-Larsen地域に産する珪長質片麻岩中の大隅石の形成過程 Formation process of osumilite in felsic gneisses from the Mt. Riiser-Larsen area of the Napier Complex, East Antarctica	曾山 祐貴 石塚 英男	Soyama, Y. Ishizuka, H.	高知大 高知大	Kochi Univ. Kochi Univ.
(15:30 - 15:45) 休憩 Coffe Break					
IV. 測地・固体地球物理 Geodesy and geophysics			座長：金尾 政紀・極地研 渋谷 和雄・極地研 Chair：Kanao, M., NIPR Shibuya, K., NIPR		
11	(15:45 - 16:05) ユーラシア極域部の最下部マントルD''層の構造推定 Structure of the D'' layer in the lowermost mantle beneath polar region of Eurasia	小早川 麻衣 山田 朗	Kobayakawa, M. Yamada, A.	愛媛大 愛媛大・地球セ	Ehime Univ. Ehime Univ. GRC
12	(16:05 - 16:25) 統計学的手法(ETASモデル)による南極プレートの地震活動の解析 The analysis of the seismicity in the Antarctica Plate by the statistical method (ETAS model)	姫野 哲人 金尾 政紀 尾形 良彦	Himeno, T. Kanao, M. Ogata, Y.	情報・システム研究機構 ROIS 極地研 統数研	ROIS NIPR ISM
13	(16:25 - 16:45) 地球中心を伝播する地震波のモデリング Modeling of seismic wave propagation through the Earth's center	豊国 源知 竹中 博士	Toyokuni, G. Takenaka, H.	九州大 九州大	Kyusyu Univ. Kyusyu Univ.
14	(16:45 - 17:05) SYOWAにおけるインフラサウンド観測の展望 Foresight of infrasound observation at SYOWA	山本 真行 石原 吉明 金尾 政紀 戸田 茂	Yamamoto, M. Ishihara, Y. Kanao, M. Toda, S.	高知工科大 国立天文台 極地研 愛知教育大	Kochi Univ. of Tech. NAOJ NIPR Aichi Univ. of Edu.
15	(17:05 - 17:25) GRACE衛星重力データによる南極氷床変動の研究 -気圧補正誤差の除去による経年変化の再計算- Study of ice sheet mass variation in Antarctica using GRACE satellite gravity data -Removal of atmospheric correction error and recalculation of the interannual mass trend-	山本 圭香 福田 洋一 土井 浩一郎	Yamamoto, K. Fukuda, Y. Doi, K.	地球研 京都大 極地研	RIHN Kyoto Univ. NIPR

第28回 極域地学シンポジウム プログラム (2008年度)

- 16 (17:25 - 17:45) 南極における電離層擾乱のGPS観測
Ionospheric Disturbances Observed by GPS in Antarctica
- | | | | |
|--------|--------------|-------|------|
| 新井 直樹 | Arai, N. | 電子航法研 | ENRI |
| 伊藤 実 | Ito, M. | 電子航法研 | ENRI |
| 星野尾 一明 | Hoshinoo, K. | 電子航法研 | ENRI |
| 土井 浩一郎 | Doi, K. | 極地研 | NIPR |
| 青山 雄一 | Aoyama, Y. | 極地研 | NIPR |
| 渋谷 和雄 | Shibuya, K. | 極地研 | NIPR |

(18:00 - 19:00) 懇親会 Conference Party

V. 南極氷床・南大洋変動史の復元と地球環境変動システムの解明 (2)
History and Environmental change on and around Antarctica (2)

座長：高田 将志・奈良女子大
前坐 英明・広島大
Chair : Takada, M., Nara Woman's Univ.
Maemoku, H., Hiroshima Univ.

- 17 (10:00 - 10:20) レバンド干渉SARによる南極海岸域の観測
L-band Interferometric SAR Observations of Coast Region of the Antarctica
- | | | | |
|--------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 大村 誠 | Omura, M. | 高知女子大 | Kochi Women's Univ. |
| 小池 克明 | Koike, K. | 熊本大 | Kumamoto Univ. |
| 吉田 博明 | Yoshida, H. | 熊本大 | Kumamoto Univ. |
| 山之口 勤 | Yamanokuchi, T. | リモートセンシング技術センター | RESTEC |
| 中村 和樹 | Nakamura, K. | 産総研 | AIST |
| 渋谷 和雄 | Shibuya, K. | 極地研 | NIPR |
| 土井 浩一郎 | Doi, K. | 極地研 | NIPR |
- 18 (10:20 - 10:40) ラングホブデやつで沢上流の氷河ダムの地形学的研究
Geomorphological study on a glacial dam in Yatsude-valley, Langhovde
- | | | | |
|-------|--------------|------|-----------------|
| 澤柿 教伸 | Sawagaki, T. | 北海道大 | Hokkaido Univ. |
| 三浦 英樹 | Miura, H. | 極地研 | NIPR |
| 岩崎 正吾 | Iwasaki, S. | 広島大 | Hiroshima Univ. |
- 19 (10:40 - 11:00) 過去13万年間の西北極海メンデレーブリッジの古海洋環境変遷
Paleoenvironmental changes in the Mendeleev Ridge, western Arctic Ocean during the last 130 kyr
- | | | | |
|-----------|---------------|---------|------------------|
| 山本 正伸 | Yamamoto, M. | 北海道大 | Hokkaido Univ. |
| レオニド・ポリャク | Leonid Polyak | オハイオ州立大 | Ohio State Univ. |
- 20 (11:00 - 11:20) 新しい第四紀後期南極氷床融解史の構築
New melting history of Antarctic ice sheet from late Quaternary inferred from GIA modeling
- | | | | |
|-------|-----------|-----|------|
| 奥野 淳一 | Okuno, J. | 極地研 | NIPR |
| 三浦 英樹 | Miura, H. | 極地研 | NIPR |
- 21 (11:20 - 11:40) 表面照射年代から示唆される第四紀後期の東南極氷床変動と氷床底の状態
Late Quaternary East Antarctic Ice Sheet history and basal conditions deduced from *in-situ* cosmogenic exposure dating
- | | | | |
|-------|---------------|-----|--------------|
| 山根 雅子 | Yamane, M. | 東京大 | Tokyo U. |
| 横山 祐典 | Yokoyama, Y. | 東京大 | Tokyo U. |
| 三浦 英樹 | Miura, H. | 極地研 | NIPR |
| 前坐 英明 | Maemoku, H. | 広島大 | Hiroshima U. |
| 岩崎 正吾 | Iwasaki, S. | 広島大 | Hiroshima U. |
| 松崎 浩之 | Matsuzaki, H. | 東京大 | Tokyo U. |
- 22 (11:40 - 12:00) リュツォ・ホルム湾における最終氷期以前の氷床変動の地質学的証拠
Geological evidences of East Antarctic Ice sheet fluctuations before the LGM
- | | | | |
|-------|-----------|-----|------|
| 三浦 英樹 | Miura, H. | 極地研 | NIPR |
|-------|-----------|-----|------|
- 南極第四紀環境変動グループ Antarctic Quaternary paleoenvironmental research group

第28回 極域地学シンポジウム プログラム (2008年度)

- 23 (12:00 - 12:20) 第四紀後期の地球環境変動システムにおける東南極氷床変動の位置づけ
East Antarctic Ice sheet fluctuations and global environmental system during the late Quaternary
三浦 英樹 Miura, H. 極地研 NIPR
南極第四紀環境変動グループ Antarctic Quaternary paleoenvironmental research group

(12:20 - 13:20) 昼食 Lunch

VI. 極域から見た超大陸の形成と分裂のダイナミクス (2)

Evolution and breakup of super-continent viewed from polar region (2)

座長：小山内 康人・九州大

外田 智千・極地研

Chair : Osanai, Y., Kyusyu Univ.

Hokada, T., NIPR

- 24 (13:20 - 13:40) 東南極セールロンダーネ山地, プラットニーパネに産するサフィリン, コランダム, 十字石の産状と変成作用

Mode occurrence of sapphirine, corundum and staurolite in Brattnipene, Sør Rondane Mountains, East Antarctica

馬場 壮太郎	Baba, S.	琉球大	Univ. of Ryukyus
豊島 剛志	Toyoshima, T.	新潟大	Niigata Univ.
小山内 康人	Osanai, Y.	九州大	Kyusyu Univ.
中野 伸彦	Nakano, N.	九州大	Kyusyu Univ.
足立 達朗	Adachi, T.	総研大	GUAS
外田 智千	Hokada, T.	極地研	NIPR

- 25 (13:40 - 14:00) 東南極リュツォホルム岩体ルンドボーグスヘッタ産石英長石質片麻岩のザクロ石斑状変晶に取り込まれた大隅石やスピネル+石英包有物から推測される変成履歴

Metamorphic P-T path inferred from osumilite and spinel+quartz coexistence included within garnet porphyroblasts of quartzo-feldspathic gneiss from Rundvågshetta, Lützow-Holm Complex, East Antarctica

川崎 智佑	Kawasaki, T.	愛媛大	Ehime Univ.
中野 伸彦	Nakano, N.	九州大	Kyusyu Univ.
小山内 康人	Osanai, Y.	九州大	Kyusyu Univ.

- 26 (14:00 - 14:20) 東南極、リュツォホルム岩体のグラニュライト相ラングホブデ地域から見出されたマグマティック紅柱石

Magmatic andalusite found in granulite-facies Langhovde area of the Lützow-Holm Complex, East Antarctica

廣井 美邦	Hiroi, Y.	千葉大	Chiba Univ.
本吉 洋一	Motoyoshi, Y.	極地研	NIPR
外田 智千	Hokada, T.	極地研	NIPR
白石 和行	Shiraishi, K.	極地研	NIPR

- 27 (14:20 - 14:40) コンダライト-チャルノッカイト境界に産出するザクロ石の組成勾配:リュツォホルム岩体, スカレヴィックハルセン

Compositional gradient of garnet in khondalite- "Charnockite" boundary from the Lützow-Holm Complex at Skallevikshalsen, East Antarctica.

加藤 睦実	Kato, M.	千葉大	Chiba Univ.
廣井 美邦	Hiroi, Y.	千葉大	Chiba Univ.
外田 智千	Hokada, T.	極地研	NIPR

- 28 (14:40 - 15:00) Fluid-rock interaction at calc-silicate rock - pyroxene gneiss interface at Skallevikshalsen, Lützow Holm Bay, East Antarctica.

マドースタウン サティッシュクマール	Satish-Kumar, M.	静岡大	Hokkaido Univ.
本吉 洋一	Motoyoshi, Y.	極地研	NIPR
廣井 美邦	Hiroi, Y.	千葉大	Chiba Univ.

(15:00 - 15:15) 休憩 Coffe Break

第28回 極域地学シンポジウム プログラム (2008年度)

VII. 極域から見た超大陸の形成と分裂のダイナミクス (3)

Evolution and breakup of super-continent viewed from polar region (3)

座長：野木 義史・極地研

船木 實・極地研

Chair : Nogi, Y., NIPR

Funaki, M., NIPR

- | | | | | | |
|-------|-------------------|--|--|--|---|
| 29 | (15:15 - 15:35) | 南極と北極地域の地震波トモグラフィーとマントル構造
Seismic tomography and mantle structure of the polar regions | 趙 大鵬
Zhao, D.
山本 芳裕
Yamamoto, Y.
金尾 政紀
Kanao, M.
山田 朗
Yamada, A. | 東北大
東北大
極地研
愛媛大 | Tohoku Univ.
Tohoku Univ.
NIPR
Ehime Univ. |
| <hr/> | | | | | |
| 30 | (15:35 - 15:55) | 地震学的研究によるリュツォ・ホルム湾地域を中心とした東南極のマントル構造と進化テクトニクス
Mantle structure & tectonic evolution around the Lützow-Holm Bay region, East Antarctica, derived from active and passive seismic studies -an overview- | 金尾 政紀
Kanao, M. | 極地研 | NIPR |
| <hr/> | | | | | |
| 31 | (15:55 - 16:15) | リュツォ・ホルム湾地域及びスリランカ下の上部マントル異方性について
Upper mantle seismic anisotropy beneath Lützow-Holm Bay, East Antarctica and Sri Lanka | 臼井 佑介
Usui, Y.
金尾 政紀
Kanao, M.
久保 篤規
Kubo, A. | 愛媛大
極地研
高知大 | Ehime Univ.
NIPR
Kochi Univ. |
| <hr/> | | | | | |
| 32 | (16:15 - 16:35) | みずほ高原の二次元比抵抗構造モデル
One-dimensional resistivity structure at Mizuho Plateau, East Antarctica | 坂中 伸也
Sakanaka, S.
船木 實
Funaki, M.
佐藤 高晴
Sato, T.
山崎哲秀
Yamasaki, T.
三宅八朗
Miyake, H.
江川晋子
Egawa, K.
上村 剛史
Kamimura, T. | 秋田大
極地研
広島大
アバンナット
株式会社関電工
日本水路協会
海城高等学校 | Akita Univ.
NIPR
Hiroshima Univ.
AVANGNAQ
Kandenko Co., Ltd.
JHA
Kaijo Junior & High School |
| <hr/> | | | | | |
| 33 | (16:35 - 16:55) | 南極リュツォ・ホルム湾沖の海底下比抵抗構造
Electrical resistivity structure beneath seafloor off Lützow-Holm Bay, Antarctica | 松野 哲男
Matsuno, T.
野木 義史
Nogi, Y.
北田 数也
Kitada, K.
島 伸和
Seama, N.
岡田 浩一
Okada, K. | 極地研
極地研
神戸大
神戸大
神戸大 | NIPR
NIPR
Kobe Univ.
Kobe Univ.
Kobe Univ. |
| <hr/> | | | | | |
| 34 | (16:55 - 17:15) | 白鳳丸KH-07-4 Leg3航海での固体地球物理観測
Geophysical observations during the R/V Hakuho-maru KH-07-4 Leg3 cruise | 野木 義史
Nogi, Y.
池原 実
Ikehara, M.
中村 恭之
Nakamura, Y.
亀尾 桂
Kameo, K.
香月 興太
Katsuki, K.
川村 明加
Kawamura, S.
北 重太
Kita, S. | 極地研
高知大
東大海洋研
東大海洋研
釜山国立大
高知大
高知大 | NIPR
Kochi Univ.
ORI
ORI
Pusan National Univ.
Kochi Univ.
Kochi Univ. |

第 28 回極域地学シンポジウム

口頭発表要旨

The 28th Symposium on Polar Geosciences

Abstracts for Oral Presentation

Pan-African collision metamorphism in the Sør Rondane Mountains, Eastern Dronning Maud Land, East Antarctica

Y. Osanai (Kyushu Univ), T. Toyoshima (Niigata Univ), S. Baba (Univ Ryukyus),
T. Hokada (NIPR), N. Nakano (Kyushu Univ), T. Adachi (NIPR),
M. Owada (Yamaguchi Univ), K. Shiraishi (NIPR) and Y. Motoyoshi (NIPR)

The Sør Rondane Mountains in eastern Dronning Maud Land, East Antarctica consists mainly of low- to high-grade metamorphic rocks and various kinds of younger plutonic rocks, which intruded into the metamorphic basement. Recently the Dronning Maud Land region in East Antarctica including the Sør Rondane Mountains attracts attentions for their tectonic and metamorphic evolutions through the Gondwana evolution and construction. The region is considered as the main portion of the East-West Gondwana collision during the East Africa- Antarctica Orogen (Jacobs and Thomas, 2004) or the Kuunga Orogen of the post East Africa Orogen (Meert, 2003).

Opx is found in Hbl-Bt gneisses, Grt-Bt gneisses and amphibolites in the northeastern to eastern part of the region. A Crd-Grt-Kfs assemblage is also found in Grt-Bt-Sil gneisses in the northeastern part. On the other hand, in the southwestern part where meta-tonalite and various amphibole schists are dominant, Opx and related granulite-facies mineral assemblages have not been found, but amphibolite- to greenschist-facies mineral assemblages are widespread. Thus the Sør Rondane Mountains can be divided into two metamorphic terranes on the basis of the metamorphic conditions: granulite-facies metamorphosed north to eastern terrane (NE-terrane: NET) and amphibolite- to greenschist-facies metamorphosed southwestern terrane (SW-terrane: SWT). The boundary between the two terranes is considered to be a large tectonic boundary as the Sør Rondane Suture (SRS) (Osanai et al., 1992). The southwestern terrane is cut by the Main Shear Zone (MSZ; Kojima and Shiraishi, 1986).

Granulite-facies metamorphism is considered to have taken place during 1000 - 1100 Ma (Shiraishi and Kagami, 1992; Grew et al., 1992) or ~540 Ma (Asami et al., 2005) in the NET. Plutonic activities are considered to be of 950 Ma and 450-500 Ma (Takahashi et al., 1990).

Peak metamorphic conditions of the NET are

c. 8 kbar and c. 900°C for the normal granulites (including ultramafic granulites). Rt needles in Qtz, mesoperthite and inverted pigeonite as well as Grt-Spr-Crn coexistence as the typical ultrahigh-temperature assemblages are also found in the terrane. Prograde Ky and St are remaining in Grt and retrograde And is also formed in some pelitic granulites. In the southern-most part of the NET (S-NET), reaction textures of Grt surrounding Opx-Crd symplectite and retrograde Ky-Bt-Qtz symplectite are found. The boundary between NET and S-NET is also a large shear zone with a thrust sense. The SWT shows clear amphibolite-facies mineral assemblages with peak conditions of up to c. 7-8 kbar, c. 700°C i.e. St-Qtz coexistence is remaining. Southern-end of the terrane indicates only very low-grade conditions due to the late shearing to form the MSZ.

Resulted from the metamorphic perspective, evolution processes (*P-T* path) of the Sør Rondane Mountains are classified into three; (1) NET: clockwise *P-T* evolution started from high-temperature Ky-field down to And-field through high- to ultrahigh-temperature granulite-facies condition, (2) S-NET: counter clockwise *P-T* path from low-*P*/high-*T* conditions then isobaric cooling with forming retrograde Ky through high- to ultrahigh-temperature granulite-facies, (3) SWT: identify only retrograde process started from amphibolite-facies Sil-field down to And-field, without any high-temperature evidences.

Geology and estimated evolution processes of metamorphic rocks from the Sør Rondane Mountains would indicate a multiple collision zone metamorphism among NET, S-NET and SWT. The SWT moved on to the NET with rapid retrograde metamorphism, nevertheless the S-NET would be subducted beneath the NET before final collision event between NET and SWT. Strong deformation and shearing portion in SWT, such as MSZ, could be formed before multiple collisions.

東南極・セールロンダーネ山地アウストカンパーネ地域に分布する炭酸塩岩および関連岩石の記載岩石学および岩石化学的特徴

中野伸彦 (九州大)・小山内康人 (九州大)・外田智千 (極地研)・豊島剛志 (新潟大)・馬場壮太郎 (琉球大)・足立達朗 (総研大)・角縁 進 (佐賀大)

Petrographical and geochemical signatures of carbonates and related rocks from the Austkampane in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica

N. Nakano (Kyushu Univ.), Y. Osanai (Kyushu Univ.), T. Hokada (NIPR), T. Toyoshima (Niigata Univ.), S. Baba (Univ. Ryukyus) T. Adachi (SOKENDAI) and S. Kakubuchi (Saga Univ.)

東南極・セールロンダーネ山地は、近年東・西 Gondwana 大陸の衝突に伴う造山運動との関連が指摘され (例えば, Jacobs et al., 1998), インド南部やスリランカとともに Gondwana 超大陸形成期のテクトニクスを解析する上で、重要な地域であるとみなされている。同地域は、主に角閃岩相からグラニュライト相の高度変成岩類とそれらに貫入する火成岩類から構成される (例えば, Osanai, et al., 1992)。このような大陸衝突に伴う造山運動に起因する高度変成岩体中には、しばしば様々な変成岩ブロックを包有するインピュアマーブルが観察される。例えば、スリランカ・ハイランド岩体では、サフィリン+石英共生を含むサフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライトがマーブルに包有される (Osanai, 1989; Osanai et al., 2006)。ベトナム・コンツム地塊の超高温変成岩分布域には、ザクロ石-単斜輝石-斜方輝石グラニュライトや蛇紋岩を包有するマーブルが認められる (中野ほか, 未公表)。このような大陸衝突域におけるインピュアマーブルを主とする炭酸塩岩についての研究は、これまでほとんど行われてこなかった。本発表では、その第一歩として、東南極・セールロンダーネ山地アウストカンパーネ地域に分布する炭酸塩岩と関連岩石の記載岩石学および岩石化学的特徴を報告する。

アウストカンパーネ地域は、グラニュライトユニットに相当し、角閃石-黒雲母±斜方輝石片麻岩およびザクロ石-珪線石-黒雲母片麻岩が卓越する。マップパブルなスケールで産する炭酸塩岩は、主に角閃石-黒雲母±斜方輝石片麻岩と互層して産するとみなされている (Osanai, et al., 1992)。今回議論に用いたものは、主にザクロ石-黒雲母片麻岩に伴って、約百数十メートル規模で産する。ザクロ石-黒雲母片麻岩はしばしば優黒質のホルンブレンド-黒雲母片麻岩-角閃岩のレイヤーを含む。ザクロ石-黒雲母片麻岩と炭

酸塩岩は、直接接することがなく、境界部には約数メートル厚の石灰珪質岩レイヤーが分布する。同レイヤーは希に、多量のアパタイト脈を伴うことがある。炭酸塩岩は、しばしば径数センチから数メートル程度の石灰珪質岩および苦鉄質-超苦鉄質岩をブロックとして包有する。以下には、これらのブロックを含めた記載岩石学的特徴を簡単に記す。

炭酸塩岩

主に方解石から構成され、やや丸みを帯びた半自形-他形のかんらん石、スピネルおよびフロゴパイト、グラファイト、ルチルから構成される。石英は現時点では認められない。方解石以外の鉱物の割合は、岩石ごとに異なる。かんらん石はまれにヒューマイトや蛇紋石によってリムをモート状に置換される。スピネルは、しばしば針状もしくは粒状のルチルを包有する。

花崗岩質片麻岩

炭酸塩岩の周囲に広く分布する。主にザクロ石-黒雲母片麻岩から構成され、一部にザクロ石を欠きホルンブレンドを含むものがある。時にカミングトン閃石を含むことがあり、斜方輝石の後退変成鉱物である可能性がある。花崗岩質片麻岩はしばしば優黒質ホルンブレンド-黒雲母±斜方輝石±単斜輝石片麻岩の薄層を含む。

石灰珪質岩ブロック

一般に、多量の単斜輝石とスカボライトから構成される。試料によって異なるが、少-多量のフロゴパイト、珪灰石、グラファイト、チタン石、方解石、斜長石、燐灰石を含む場合が多い。珪線石に富むものは、単斜輝石の含有量が少ない。石英は現時点では認められない。粗粒なグラノブラスティックな単斜輝石の周囲に細粒な単斜輝石+斜長石シンプレクタイトが形成されることがあるが、その多くがアパタイトに伴って形成されているため、変成条件の変

化によるものか、流体の影響によるものなのかは今
のところ判断できない。

苦鉄質～超苦鉄質岩ブロック

数種類のバリエーションがあるが、主に角閃岩、ホルンブレンダイト、かんらん岩およびアノーソサイトからなる。それぞれの記載は省略するが、特徴的に観察される組織のみ以下に記す。

角閃岩においては、グラノプラスティックなカミングトン閃石（斜方輝石の後退変成物？）の周囲にホルンブレンドが形成されている。また、パーサイト構造をしめす斜長石のリムにはクリアな斜長石の再成長部が認められる。ザクロ石角閃岩のザクロ石は細粒・粒状でホルンブレンドの周囲にのみ産する。かんらん岩には、かんらん石の粒間をしばしば方解石が充填し、グラファイトに富むレイヤーが認められる。さらに、アノーソサイトと炭酸塩岩との境界にはホルンブレンドに富む反応帯が形成されている。これらの特徴は、炭酸塩岩とブロック類との間で、元素の交代作用が生じたことを表しているのかもしれない。

岩脈類

ペグマタイト脈を除き、アパタイト脈とチタン石およびカリ長石に富む岩脈などが観察される。前者は主にアパタイトから構成され、少量の単斜輝石を含む。また、アパタイト中には単斜輝石のラメラが認められる。後者は、チタン石とカリ長石のほか、少量の斜長石と石英およびアパタイトから構成される。

全 40 試料の全岩化学組成は、パナリティカル PW-2400 型蛍光 X 線分析装置を使用した。炭酸塩岩の測定に対応するため、CaO= 69.6 wt%までの合成試料により作成した検量線を使用した。粉末試料は 900℃で 2.5 時間強熱し、灼熱減量とした。測定値の合計が 98–100 wt%をしめたことから、ほとんどの CO₂はこの作業によって除去されたと考えられる。

炭酸塩岩の化学組成は、比較的高い SiO₂ (7.8-21.0 wt%) および MgO (17.1-26.0 wt%; Mg#= 95-99)含有量で特徴付けられる。CaO 含有量は、28–34 wt%に集中する。珪灰石を含まない石灰珪質岩ブロックは、比較的一定の組成をしめし (SiO₂= 46-53 wt%; CaO= 19.7-23.2 wt%; MgO= 12.1-15.8 wt%; Mg#= 90-92)、珪灰石を含むものは、Al₂O₃および微量元素に富み、CaO と MgO に乏しい (Al₂O₃= 14.5-22.6 wt%; MgO= 1.3-8.0wt%; Mg#= 81-88)。苦鉄質～超苦鉄質岩ブロックは、主要・微量元素組成が岩石ごとに大きく異なる。例えば、アノーソサイトを除く全 6 試料の組成

は、SiO₂= 28.3-48.6 wt%, Al₂O₃= 1.7-18.2 wt%, Mg#= 41-97 と広い組成幅をしめし、微量元素においても、Y= 4.3-43.5 ppm, Zr= 8.4-160.6 ppm, Nb= 1.6-17.3 ppm, Nd= 2.1-35.0 など、様々な値をしめす。同様に花崗岩質片麻岩も各元素の組成幅が大きい。一方で、それに狭在する苦鉄質レイヤー（ホルンブレンド-黒雲母±斜方輝石±単斜輝石片麻岩）の各元素の組成幅は小さい（例えば、Mg#= 48-59; Y= 21.3-38.8 ppm; Zr= 99.5-192.4 ppm; Nb= 4.5-12.0 ppm）。岩脈類は、非常に高い希土類元素含有量をしめす。

以上、本発表ではアウストカンパーネ地域の炭酸塩岩とそれに関連する岩石の初生的なデータとして、産状、記載岩石学および岩石化学的特徴をまとめた。結果として、炭酸塩岩の成因としては多くのアイデアが考えられるが、様々な組成をしめすブロック類や岩脈の存在は、セールロンダーネ山地における海洋プレートの沈み込みから大陸の衝突、地殻とマントルの相互作用とその際の微量元素を含む流体の挙動など、多くの情報を保持している可能性がある。今後の詳細な研究が期待される。

文献

- Jacobs, J., Fanning, C.M., Henjes-Kunst, F., Olesch, M., and Paech, H.-J., 1998. Continuation of the Mozambique Belt into East Antarctica: Grenville-age metamorphism and polyphase Pan-African high-grade events in central Dronning Maud Land. *The Journal of Geology*, 106, 385–406.
- Osanai, Y., 1989. A preliminary report on sapphirine/kornerupine granulite from Highland series, Sri Lanka. Extended abstract of Seminar on Recent Advantages in Precambrian Geology of Sri Lanka, IFS Kandy.
- Osanai, Y., Sajeev, K., Owada, M., Kehelpannala, K.V.W., Prame, W.K.B., Nakano, N. and Jayatileke, S., 2006. Metamorphic evolution of high-pressure and ultrahigh-temperature granulites from the Highland Complex, Sri Lanka. *Journal of Asian Earth Sciences*, 15, 20-37.
- Osanai, Y., Takahashi, Y., Shiraishi, K., Ishizuka, H., Tainosho, Y., Tsuchiya, N., Sakiyama T. and Kodama, S., 1992. Geochemical characteristics of metamorphic rocks from the central Sør Rondane Mountains, East Antarctica. In: Y. Yoshida, K. Kaminuma and K. Shiraishi, Editors, *Recent progress in Antarctic earth science*, TERRAPUB, Tokyo, pp. 17–27.

東南極セールロンダーネ山地アウストカンパーネ に産する変成岩類と優白質岩脈類

外田智千 (極地研)、足立達朗 (総研大)、中野伸彦 (九州大)、
小山内康人 (九州大)、豊島剛志 (新潟大)、馬場壮太郎 (琉球大)

Metamorphic rocks and leucocratic veins from Austkampane, Sør Rondane Mountains, East Antarctica

T. Hokada (NIPR), T. Adachi (Sokendai/NIPR), N. Nakano (Kyusyu Univ.),
Y. Osanai (Kyusyu Univ.), T. Toyoshima (Niigata Univ.), S. Baba (Univ. Ryukyus)

セールロンダーネ山地のほぼ中央部の北寄りに位置するアウストカンパーネ地域は Osanai et al. (1992, 1996) の区分によるユニット I~II にあたり、この地域の苦鉄質岩類は海洋性起源の化学的特徴を持つものが多く、また泥質岩の鉱物共生などからはセールロンダーネ山地で最も変成度の高い地域とされている。

アウストカンパーネ地域には、セールロンダーネ山地の他の地域と同様に含黒雲母角閃石珪長質片麻岩が卓越し、その間に中性~苦鉄質岩ならびに泥質片麻岩類や大理石・石灰珪質岩が挟在される。それらの片麻岩類の構造に斜交するように、優白質の岩脈が貫入する。

珪長質、苦鉄質、泥質の変成岩類はそれぞれ、黒雲母±角閃石±ザクロ石±白雲母、角閃石±黒雲母±ザクロ石±単斜輝石±斜方輝石±緑簾石、黒雲母±ザクロ石±珪線石±堇青石±白雲母、の鉱物組み合わせが卓越し、これまでの先行研究で繰り返し示されているとおり角閃岩相高温部からグラニュライト相相当のピーク変成条件とその後の冷却過程での角閃岩相低温部条件下での加水作用が示唆される。

ピークの変成作用とその後の加水作用のプロセスならびに時期を検討する上で、片麻岩類に貫入する優白質岩脈類は加水作用の水の供給源として注目される。SHRIMPを用いたジルコン U-Pb 測定によってセールロンダーネ山地からは、 $>c.1200, 1130, 1000,$

800, 650-600, 560-520 Ma といった多彩な年代値が報告され (Shiraishi et al., 2008 in press)、変成岩類に記録されている地質イベントの分離はこの地域での主要な研究ターゲットのひとつである。

また、泥質片麻岩中のザクロ石には、しばしばコアからリムに向かってグロシュラー成分とパイロプ成分が減少する組成累帯構造が認められ、また、そのうちのグロシュラー成分の組成変化はクラックや黒雲母の分布と関係なく、早期の組成累帯を保持していると考えられる。また、Y と P の組成変化もグロシュラー成分の累帯構造とそれぞれ正および負の相関を示す。

こうした泥質片麻岩類に貫入する優白質岩脈の多くは花崗岩質の特徴 (肉眼観察ならびに鏡下での鉱物組み合わせ) を持つ。しかし、その一部から繊維状の珪線石 (フィブロライト) を大量に含む岩脈を複数見いだした。こうした珪線石を含むペインの一部では泥質岩と混じりあっているように見える部分もあるが、基本的には泥質岩の構造を切って貫入している。

本講演では、こうした変成岩類と貫入岩脈群の産状ならびに鏡下での特徴を紹介するとともに、主要構成鉱物の特徴や解析結果と年代測定のターゲットとなる副成分鉱物の種類や産状、化学組成との対応関係を詰めることによって、今後この地域の P-T-t 経路の検証や多彩な年代値とのリンクを進めるための道筋を検討したい。

東南極ドロンピングモードランド東部のセールロンダーネ山地中央部において南-北圧縮と北東-南西伸張によって形成された地質構造

豊島剛志 (新潟大)・小山内康人 (九州大)・馬場壮太郎 (琉球大)・外田智千 (極地研)・中野伸彦 (九州大)・足立達朗 (総研大)

Macroscopic geological structures resulting from N-S compression and NE-SW extension in the central part of the Ser Rondane Mountains, eastern Dronning Maud Land, East Antarctica

Toyoshima, T. (Niigata Univ.), Osanai, Y. (Kyushu Univ.), Baba, S. (Univ. Ryukyus), Hokada, T. (NIPR), Nakano, N. (Kyushu Univ.) and Adachi, T. (NIPR)

研究背景と目的 東南極セールロンダーネ山地は東・西 Gondwana 大陸の衝突帯内部に位置し、Gondwana 超大陸形成時の深部地質現象が現れている場所として国内外から注目されている (Jacobs & Thomas, 2004 など)。同地域の地質学については、ベルギーによる先駆的地質調査、第 25 次-第 32 次日本南極地域観測隊の広域調査によって岩石構成・地質構造がだまかに理解されてきた。その結果、原岩構成に基づいて A-G 帯の変成岩帯が区分され、各帯の境界は大規模な構造的ギャップであると解釈されている (Osanai et al., 1992, 1996)。特に D・E 帯境界はセールロンダーネ縫合線と呼ばれ、最も大きな構造的ギャップであるとされた。しかし、各帯の変成作用・変形作用の詳細や大構造、構造的ギャップの実態に関する情報は少ない。そこで筆者らは第 49 次日本南極地域観測隊・セールロンダーネ山地地質調査隊として、セールロンダーネ山地中央部の岩石構成・変成作用・地質構造・変形作用に関する解析を開始した。

本地域の変形作用は 7 つのステージに区分されている (D1: 変成岩層の片麻状構造に平行な (以下、層平行) 伸張によるブーダン構造形成, D2: 上盤南西移動に伴う層平行剪断・層平行短縮によるシート状花崗岩類の貫入とマイロナイト形成, D3: 上盤南東移動の層平行剪断によるマイロナイトと横臥褶曲の形成, D4: N-S 圧縮による E-W トレンドの正立褶曲群, D5: E-W 圧縮による N-S トレンドの褶曲群, D6: NW-SE 圧縮による NE-SW トレンドの褶曲, D7: 閃長岩・花崗岩岩脈の貫入) (Toyoshima et al., 1995)。本報告では、これらの内、特に D4・D7 変形作用の解析結果について述べる。

E-W トレンドの正立褶曲群形成に関わるテクトニクス

(D4 変形作用) D4 正立褶曲は特に、ブラットニーパネ、ルンケリッゲン北部、アウストカンパーネ南部、メニパに発達する。ブラットニーパネ南部、ルンケリッゲン、メニパにおいて発達する D2・D3 マイロナイト帯は D4 褶曲によって曲げられている。ブラットニーパネとルンケリッゲンの間、メーフィエル北部にかけて、現在セールロンダーネ縫合線が通るとされている場所には主に D4 ステージの小褶曲発達帯が存在し、高角な構造的ギャップや断層は認められなかった。

本地域の D4 褶曲に相当する褶曲構造はドロンピングモードランド全域において発達し、変形史早期形成の層平行マイロナイト帯を曲げている (Ohta et al., 1990;

Jacobs et al., 1998; Bauer et al., 2003; Owada et al., 2003)。したがって、層平行剪断後の N-S 圧縮はドロンピングモードランドの広域テクトニクスを示すと考えられる。D4 褶曲軸は現在の海岸線にほぼ平行で、東・西 Gondwana 衝突帯内の杉型雁行褶曲にあたる方向性を持っている。したがって、衝突帯の左横ずれ運動を示す変形構造として位置づけられるかもしれない。

花崗岩岩脈貫入時テクトニクス (D7 変形作用) 本地域には D7 ステージに貫入したペグマタイトー花崗岩岩脈が多数存在する。それらの多くでは岩脈縁に沿って、岩脈や壁岩の変成岩が極薄いマイロナイトやシュードタキライトになっている。断層岩を挟まない場合でも壁岩の変成岩類の片理面が引きずられていることが多い。断層岩や壁岩の非対称構造は、岩脈貫入時一その直後、岩脈沿いに正断層成分の大きなずれが生じたことを示す。ほとんどの D7 岩脈は NW-SE 走向で、NE あるいは SW に高角傾斜を示す。これらのことから、D7 ペグマタイトー花崗岩岩脈の貫入が NE-SW 方向の水平引張場において起こったとみなされる。また、マイロナイトとシュードタキライトの共存は、地殻浅部の塑性-脆性遷移域付近における断層運動であることを示している。さらに、D7 岩脈に相当する岩脈の貫入は、本地域だけでなくセールロンダーネ山地の広い範囲で認められることから、広域テクトニクスを反映した地質現象であると考えられる。先行研究によると、D7 ステージ前には水平圧縮場において複数ステージの褶曲形成が起こっている。したがって、水平圧縮場から水平引張場へと、テクトニックに大きな転換が起こったことになる。その時期は花崗岩類の年代値から 512-500Ma と考えられる (Takahashi et al., 1990; Bauer et al., 2003)。

引用文献: Bauer et al., 2003 Geol. Soc. London Spec. Pub., 206, 247-269; Jacobs et al., 1998 J. Geol., 106, 385-406; Jacobs & Thomas, 2004, Geology, 32: 721-724; Ohta et al., 1990, Polar Res., 8, 99-126; Osanai et al., 1992, Recent Progress in Antarctic Earth Science. TERRAPUB, 17-27; Osanai et al., 1996, Antarctic Geological Map Series, Sheet 34, NIPR; Owada et al., 2003 Polar Geosci., 16, 108-136; Takahashi et al., 1990, Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci., 4, 1-8.; Toyoshima et al., 1995, Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci., 8, 75-97.

東南極セールロンダーネ山地・ブラットニーパネに産する珪長質片麻岩に含まれる石英中のTi含有量の評価

足立達朗（総研大）、外田智千（極地研）、小山内康人（九州大）、豊島剛志（新潟大）、
馬場壮太郎（琉球大）、中野伸彦（九州大）

Analysis method of titanium contents in quartz in felsic gneiss from Brattnipene, the Sør Rondane Mountains, East Antarctica.

Tatsuro Adachi (Sokendai), Tomokazu Hokada (NIPR), Yasuhito Osanai (Kyusyu Univ.)

Tsuyoshi Toyoshima (Niigata Univ.), Sotaro Baba (Univ. Ryukyus) and Nobuhiko Nakano (Kyusyu Univ.)

鉱物中の離溶組織は、近年超高压変成岩や超高温変成岩から特徴的に見出されるものが報告され、それらの条件を経験した指標であるとして注目されている(e.g. Chopin 2003; Osanai et al. 2001). 離溶組織の存在は、離溶相を構成する元素がかつて母晶中に固溶していたことを示す。これを受けて、ザクロ石や単斜輝石などでは離溶相構成元素の固溶量についての合成実験が報告されている(e.g. Zhang et al 2003; Luth 1997). 今回報告する石英については実験的にTi固溶量の温度依存性が確認されており(Wark & Watsoson 2006; Kawasaki & Osanai 2008), 離溶組織の存在は、高温条件からの冷却過程を経ていることを示している。

東南極セールロンダーネ山地は、分布する変成岩類の岩相および変成度の違いによって北東部グループと南西部グループに区分されている(Osanai et al. 1992)。北東部グループの変成岩類は、グラニュライト相に達するピーク変成作用を受けていると考えられているが(e.g. Asami et al. 1992), 後退変成作用の影響を強く受けており、ピーク変成作用の痕跡をそのままとどめている試料は限られている。しかし、北東部の広範囲で、これら後退変成作用を受けている岩石に含まれる石英やザクロ石か

らルチル離溶組織が見出されている(足立 2006). この離溶組織の分析によってルチル離溶前の母晶中のTi含有量を評価できれば、改変されてしまったピーク変成条件を見積もることが可能となることが期待される。そこで今回は、グラニュライト相の珪長質片麻岩に含まれる石英と、それがペグマタイトの貫入による後退変成作用を受けてきた角閃岩相の珪長質片麻岩のルチル離溶を含む石英をそれぞれ EPMA を用いて分析し、比較検討した。

使用した試料は、セールロンダーネ山地ブラットニーパネに産する珪長質斜方輝石片麻岩(試料番号 07121003A)と珪長質角閃石黒雲母片麻岩(07121003B)で、足立ほか(2008)で解析したものと同一のサンプルである。前者に含まれる石英は包有物、離溶ルチルを含まない。後者の石英は、おおよそ 30~50 μm 間隔で 3~4 方向に配列した針状の離溶ルチルを含んでいる。

EPMA の測定条件は、電圧 15KeV, 電流値 $1.5 \times 10^{-7}\text{A}$, スポット径 100 μm , 50 μm , 2 μm で値を比較した。分析時間は、Ti についてはピーク 60 秒, バックグラウンド 30 秒で、他の元素はピーク 10 秒, バックグラウンド 5 秒で行った。Ti のスタンダードは、合成ルチル, TiO_2 を 0.120wt% 含ん

だクロマイト, TiO_2 を 0.108wt% 含んだスベサルティンを試し, Ti を微量に含む複数の鉱物を分析して最も確度の高かったクロマイトを使用することにした.

離溶ルチルを析出していない, 珪長質斜方輝石片麻岩中の石英については, スポット径に関わらずおおよそ 0.020~0.015wt% を示した. 一方で珪長質角閃石黒雲母片麻岩中の石英についてはスポット径によって分析値にバラつきが生じた. スポット径 100 μm で分析した場合は, 珪長質斜方輝石片麻岩中の石英と近い 0.020~0.015wt% を示す. 2 μm で分析した場合は, 多くが 0.005wt% 前後の値を示す. 50 μm で分析した場合は, 分析点によって 0.005 ~ 0.035wt% とかなりばらついた値を示した.

珪長質角閃石黒雲母片麻岩中の石英がもととも珪長質斜方輝石片麻岩中の石英を同等の Ti 含有量であったと仮定すると, 両者をスポット径 100 μm で分析した場合に非常に近い値を示すことは, スポット径を大きくすることでルチルを離溶した鉱物の, 離溶前の組成をある程度見積もることができる可能性を示唆している. また 2 μm で分析した場合に珪長質角閃石黒雲母片麻岩中の石英が珪長質斜方輝石片麻岩のものと比較して低い含有量を示すことは, ルチル離溶後の石英中に含まれる Ti 含有量を分析できていることを示している. 一方, 50 μm で珪長質角閃石黒雲母片麻岩中の石英を分析した場合に値が大きくばらつくことは, 50 μm のスポット径が, 30~50 μm 間隔で配列する離溶ルチルを含むこの石英の離溶前の Ti 含有量を見積もるのには充分に大きくないことを示している.

引用文献

- 足立 2006. 第 26 回極域地学シンポジウム講演要旨集. 54-55.
- 足立ほか 2008. 日本地質学会第 115 年学術大会講演要旨集.
- Asami et al 1992. In Yoshida et al. (eds), *Recent Progress in Antarctic Earth Science*, Tokyo. pp7-15.
- Chopin, C. 2003. *Earth and Planetary Science Letters*. 212, 1-14
- Kawasaki&Osanai. 2008. *Geological Society of London*. 308, 419-430
- Luth, R.W. 1997. *American Mineralogist*. 82, 1198-1209
- Osanai et al. 2001. *Polar geoscience*. 14, 1-24.
- Osanai et al 1992. In Yoshida et al. (eds), *Recent Progress in Antarctic Earth Science*, Tokyo. pp7-15.
- Wark&Watson 2006. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 152, 743-754
- Zhang et al. 2003. *Earth and Planetary Science Letters*. 216, 591-601

Proterozoic thermal events in the Eastern Ghats Belt and their implication on the Indo-Antarctic correlation

Sankar Bose¹, Makoto Arima¹ & Daniel J. Dunkley²

¹Graduate School of Environmental and Information Science, Yokohama National University, Tokiwadai 79-7, Yokohama 240 8501, Japan

²National Institute of Polar Research, 1-9-10 Itabashi-ku, Tokyo 173 8515, Japan

The Eastern Ghats Belt (EGB) of India exposes an eroded deep crustal section that underwent multiple phases of tectonic and thermal reworking during the Proterozoic eon. Rocks of this belt experienced high temperature (HT) to ultrahigh temperature (UHT) metamorphism and associated deformation and melting events that are often correlated with global-scale orogenies responsible for making and breaking of Precambrian supercontinents Rodinia and Gondwana. Existing models suggest that the EGB and Rayner Complex of east Antarctica evolved as a composite orogen amalgamating cratonic blocks of India and Antarctica during the assembly of Rodinia. One major obstacle in this transcontinental correlation is the lack of well constrained geochronological data relating tectonothermal imprints from the Indian counterpart, although recent spate of publication greatly improved the scenario (Simmat and Raith, 2008; Chatterjee et al., 2008). An endeavor to characterize these important thermal events by high-precision geochronological technique prompted us to analyze zircon grains from variety of rock types covering wide areas of EGB using U-Pb SHRIMP method. Notwithstanding the fact that zircon grains show variation in morphology (revealed under BSE and CL) and chemistry (as evident in Th/U ratio), contrasting age information furnished by these grains is intriguing. Zircon grains from the leptynite of southern EGB (Domain 1 after Rickers et al., 2001) suggest well-grouped concordant age of c. 1760 Ma with discordant c. 1690 Ma age, which is probably caused by partial resetting of zircon during UHT metamorphism. UHT aluminous granulites from the central part (Domain 2 of Rickers et al., 2001) show zircons with discordant high CL detrital core of c. 1820 Ma and concordant oscillatory-zoned igneous

cores of c. 1760 Ma. Oscillatory-zoned mantle over igneous core and low-CL rim over detrital core show discordant age of c. 1650 Ma that possibly formed during UHT metamorphism and anatexis. Simple zoned zircon shows dark CL character and low U/Th ratios with well-grouped concordant age of c. 950 Ma. While the c. 1650 Ma thermal event is rarely witnessed by the rocks of Rayner Complex (see however, Kelly et al., 2002), the c. 950 Ma metamorphic event is correlated with the Rayner structural event (980-930 Ma) affecting Kemp Land, Oygarden and other areas of Mawson coast. Absence of c. 950 Ma event in the southern part implies early cratonization of this domain. Moreover, no trace of and Pan-African age (550-500 Ma) event in zircon from all these samples suggest weak thermal input by this event that was incapable of recrystallization and growth of new zircon despite causing substantial resetting in monazite geochronometer (Simmat and Raith, 2008). Thus, the Eastern Ghats (Domain 2) - Rayner composite orogen was largely cratonized during this c. 950 Ma thermal and structural event giving birth to Rodinia.

Rocks of the northern part (Domain 3 after Rickers et al., 2001) witnessed discrete thermal imprints as revealed from geochronological data. Zircon grains in the HT/UHT aluminous granulites are U-rich (low Th/U ratio), cloudy homogeneous to sector zoned in appearance, preserving metamorphic character with nearly concordant age of c. 780 Ma. Inherited xenocrystic cores showing high CL and high Th/U ratios yield discordant ages of c. 2450 Ma and c. 3100 Ma in two samples. Co-metamorphosed and co-deformed charnockite shares the same history. Few metamorphic grains show c. 520 Ma age, which possibly is responsible for partial modification and

recrystallization of the c. 780 Ma grains. Absence of c. 950 Ma and earlier events is conspicuous in zircon, although monazite U-Pb-Th system recorded such age (~ c. 950 Ma) from this area (Simmat and Raith, 2008). Despite the fact that monazite and zircon systematics differ considerably under same geological condition, the overwhelming cluster of age near c. 780 Ma in Domain 3 as compared to c. 950 Ma in Domain 2 demarcates a clear time difference of thermal events between these two. Synthesis of all the analyzed data implies that there is a gross discrepancy in the evolutionary history among three domains of the EGB. Domain 3 possibly amalgamated to the rest of the EGB after the break-up of Rodinia. Prior to this, it could have been a part of Prydz Bay terrane, where metamorphism at c. 800 Ma is recently identified (Kelsey et al., 2008). The entire mosaic of the present-day EGB was possibly achieved when the Domain 3 (northern part) juxtaposed to cratonic India and rest of the EGB during the birth of Gondwana. Each of the three domains of EGB therefore speaks for its own fragmental history.

References

- Chatterjee, N., Crowley, J., Mukherjee, A.B. and Das, S., 2008. *Journal of Geology*, v. 116, page 105-116.
- Kelly, N.M., Clarke, G.L. and Fanning, C.M., 2002. *Precambrian Research*, v. 116, page 307-330.
- Kelsey, D.E., Wade, B.P., Collins, A.S., Hand, M., Sealing, C.R. and Netting, A., 2008. *Precambrian Research*, v. 161, page 355-388.
- Rickers, K., Mezger, K. and Raith, M.M., 2001. *Precambrian Research*, v. 112, page 183-212.
- Simmat, R. and Raith, M.M., 2008. *Precambrian Research*, v. 162, page 16-39.

南極海ウィルクスランド沖コアの微化石と古地磁気の研究

横山美穂（富山大学）、酒井 英男（富山大学）、関本 勝久（地質科学リサーチ）、
遠藤 邦彦（日本大学）、松岡 東香（筑波学院大学）

Study of micropaleontology and paleomagnetism on the sediment from Antarctic Sea

Miho Yokoyama, Hideo Sakai, Katsuhisa Sekimoto, Kunihiko Endo, Haruka Matsuoka

1. はじめに

本研究では、南極域海底コア GC1501（石油開発公団の白嶺丸により掘削）から産出する有孔虫化石や IRD（漂流岩屑；Ice rafted debris）、放散虫化石を明らかにし、南極海域の古気候を復元する。更に、その結果を基に、コアの海洋酸素同位体ステージ（MIS）の認定を行うことを目的とした。

2. 試料と分析

海洋底堆積物コアGC1501は「白嶺丸」により1994年に南極海において水深 3060mの地点で掘削された。掘削地点は座標 112.3° E, 63.7° S。コア全体の色調の変化はほとんど無く、珪質シルトから構成されている。

同コアは、掘削時に石油開発公団により、20cm 区分で微化石・古地磁気調査・有機物・物性・地殻熱流量が分析された。その後、古地磁気測定は Sakai (1998)、岩石磁気測定が Matsuoka (2004) により行われ、GC1501は、Jaramillo 終了期（99 万年前）と B/M 変換期（78 万年前）を含む過去約 100 万年間の記録を保有していると判明した。また、コアトップは採掘時に失われており、コア最上位の有孔虫化石による AMS 年代は 2.9–3.3 万年と測定された。

本研究では、有孔虫化石と IRD を主な対象とし、合わせて産出する放散虫もカウントを行った。分析はコアを約 2cm 毎に分けた 237 サンプルのうちの 124 サンプルについて行った。

3. 結果及び考察

有孔虫分析では、コア中部（150–390cm）を除くコア上部と下部の大半において浮遊性有孔虫 *Neogloboquadrina pachyderma*（以下 *N. pachyderma*）の寡占群集となった。*N. pachyderma* は寒冷域に生息する代表的な浮遊性有孔虫であり、水温で殻の巻く方向が変わる特性を持っている。それ故、産出する有孔虫の左巻き個体と右巻き個体の比率の調査から、過去の水温・気候が推測でき、*N. pachyderma* 左巻き個体産出量は寒冷期を示す良い指標となる。また、IRD も、寒冷期に産出量が増えることが知られており、寒冷期を示す指標と見なすことが出来る。

これらの情報を基に、「*N. pachyderma* 左巻き個体」・「IRD」の値が高い箇所は寒冷期、逆に値が低い箇所は温暖期に相当すると考え、コアの気候変動を推測した。

その後、この推測した気候変動と古地磁気に基づく推定年代から、MIS の認定を行った。その結果、一部箇所を除いてコア全体で寒・暖の気候変動が認められ、MIS は 4–31（14、15、21、22、24–26、28、29 を除く）を認定することが出来た。

認定できなかった MIS の内、MIS14 及び 15 については、これらの MIS に相当すると思われる箇所コア中部（300–390cm）において有孔虫、IRD の産出量が著しく減少した為、気候変動を判断することが不可能であった為である。また、MIS5 の中で比較的寒冷傾向が強かったと考えられる MIS5-b、もしくは MIS5-d に相当すると思

われる箇所は、寒冷傾向が強く表れた。

ただし、古地磁気に基づく推定年代がずれる可能性が有る場合、MIS5-b、もしくはMIS5-dに相当すると思われる箇所は寒冷傾向が強く表れていることから、MIS4に相当する可能性もある。また、この場合、コア最上部はMIS2に相当する可能性がある。

古地磁気年代については、現在、再確認を行っている。更に、コア最上部からMIS7に相当する箇所までの細かい微化石分析や、酸素・炭素同位体比の分析に基づく年代測定も予定しており、改めて上記の考えを検証するつもりでいる。

今後は、有孔虫、放散虫及びIRDの産出が得られない箇所の気候変動及びMISの認定をどう行うか、他に気候変動の判断となる指標がないかの調査も課題となる。本研究では、有孔虫やIRDの他に放散虫も産出しているが、その産出変動は有孔虫・IRDと逆相関となっており、相対的

に温暖期を示す指標となりうるかもしれないが、この推定が正しいかどうか今後検討する必要がある。

4. 引用文献

- H. SAKAI et al.(1998): Paleomagnetic of marina sediments from Antarctic sea, Polar Geosci 11
- H.Matsuoka(2004): Anomalous high coercivity natural remanent magnetization acquired by maghemite in deep-sea sediments off Wilkes Land, East Antarctica, Doctor of philosophy
- 石油開発公団(1997):「平成7年度南極地域石油天然ガス基地地質調査スコット海盆西部海域解析報告書」

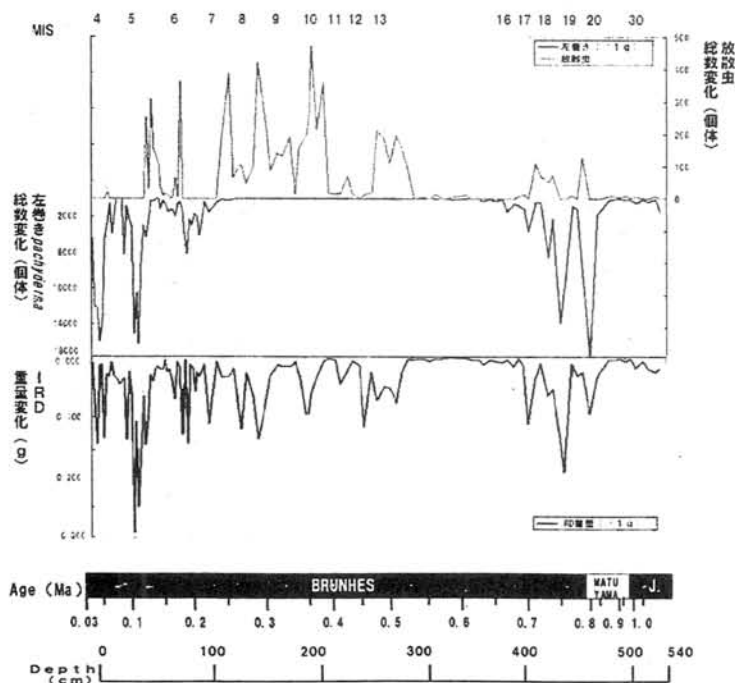


図 MIS決定

上より、乾燥試料1gに対する放散虫総数、*N. pachyderma* 左巻き個体数、IRD重量の分析結果。放散虫総数は上に向かって、*N. pachyderma* 左巻き個体数およびIRD重量は下に向かって値が増加している。

白鳳丸 KH07-4 次航海にて南大洋インド洋区から採取された海洋コアの非破壊物性解析と岩相層序

池原実¹, 香月興太², Boo-Keun Khim², 菅沼悠介³, 三浦英樹⁴, 横山祐典³ (¹高知大学海洋コア総合研究センター, ²釜山大学, ³東京大学, ⁴国立極地研究所)

Non-destructive measurements and sediment lithology of three marine cores from the Indian sector of the Southern Ocean during the R/V Hakuho-Maru KH07-4 cruise

Minoru Ikehara¹, Kota Katsuki², Boo-Keun Khim², Yusuke Sukanuma³, Hideki Miura⁴, Yusuke Yokoyama³ (¹Kochi Univ., ²Pusan National Univ., ³Univ. of Tokyo, ⁴National Institute of Polar Research)

1. はじめに

南極大陸上の巨大氷床とその周辺に広がる南大洋は、気候システム内において地球を冷やす働きをしており、南極寒冷圏 (Antarctic Cryosphere) とも呼ばれている。南極寒冷圏を構成するサブシステムとしては、南極氷床の他、南大洋に広がる海水や低温の表層水、南極前線などの海洋構造、そして表層海流系としての南極環流などがある。これらのサブシステムは相互に連動しながら新生代を通じた地球の寒冷化に大きく寄与してきている。これら南極寒冷圏のサブシステムの変動を明らかにすることは、第四紀の地球環境変動の実態、および、それらの気候システム内での役割を理解する上で重要な視点となる。そこで、第四紀後期における東南極氷床の消長とそれに伴う氷縁域での生物生産量の時空間変動を復元するため、また、これまで南極大陸上の地形・地質調査等から東南極における古環境情報が蓄積されているリュツォ・ホルム湾沖をターゲットとして、新たに海底コアを採取して古海洋学的研究を行うこととした。2008年2月に実施された白鳳丸 KH07-4 Leg. 3において、南極海リュツォ・ホルム湾周辺海域における海洋地質学的調査を行った。

2. コア試料と非破壊計測の概要

本研究に用いたコア試料は、リュツォ・ホルム湾周辺海域およびコンラッド海台において採取した表層堆積物 (マルチプルコア)、および、ピストンコアである。コアの位置情報は以下の通りである。

- ・COR-1PC (54°16'S, 39°46'E, 2864m)
- ・GUR-1MC (66°16'S, 33°26'E, 1348m)
- ・LHB-3PC (66°00'S, 40°00'E, 4469m)

採取したコアを用いて、高知大学海洋コア総合研究センターにおいて、X線CTスキャナシステム PRATICO (日立メディコ社製) を用いたX線透過画像撮影、マルチセンサーコアロガー (MSCL, GEOTEK 社製) を用いた非破壊物性測定

(帯磁率, ガンマ線密度, 弾性波速度, 電気比抵抗), 分光測色計 CM-2022 (ミノルタ社製) を用いた堆積物の色彩測定を行った。また, COR-1PC および GUR-1MC では浮遊性有孔虫の酸素・炭素同位体測定と放射性炭素年代測定を行った。

3. 結果と考察

- (1) COR-1PC は、南極前線付近から採取された全長 4.1m の均質な珪藻軟泥コアである。帯磁率は極めて小さいため、本コアには磁性鉱物がほとんど含まれていないと推測される。コア最下部の ^{14}C 年代は 9765 年を示し、平均堆積速度は約 41cm/ka である。今後 COR-1PC の解析を進めることによって、完新世の南極環流および南極前線付近の古海洋変動を高い時間解像度で復元することが出来ると期待される。
- (2) GUR-1MC は、南極大陸に近接するグンネラス海台上から採取された全長約 22cm の有孔虫軟泥コアである。浮遊性有孔虫の酸素同位体比は明瞭な氷期・間氷期変動パターンを示さなかった。コア最下部の ^{14}C 年代は 31005 年を示した。しかし、深度約 10cm を境に若干の岩相変化、炭酸塩含有量、オパール濃度などの層位変化が認められることから、最終氷期から完新世の極域環境変動を記録している可能性がある。
- (3) LHB-3PC は、リュツォホルム湾沖から採取された全長 734cm の珪質堆積物コアである。岩相および帯磁率は周期的に変化し、南極大陸由来の粗粒堆積物が繰り返し供給されたことを示唆する。予察的な古地磁気解析結果によると、相対古地磁気強度変動パターンを標準的な変動パターンに対比することが可能であり、コア最下部の年代は約 60 万年前 (MIS 15) と推測される。平均堆積速度は 1.2cm/ka である。今後、詳細な古海洋変動解析を進め、ドームFアイスコアなどの南極域の古気候記録との比較を行う予定である。

相対古地磁気強度を用いた南極海リュツォ・ホルム湾沖海底堆積物の年代推定

菅沼悠介 (東京大学), 池原実 (高知大学), 三浦英樹 (極地研)

A relative paleointensity record from the Lutzow-Holm Bay, Antarctic

Y. Suganuma (Tokyo Univ.), M. Ikehara (Kochi Univ.), H. Miura (NIPR)

遠洋性の海底堆積物は、連続的な地層記録を提供し、古環境変動の復元に関わる研究にとって不可欠である。特に、南大洋の海底堆積物は、南極氷床変動史の復元に貴重なデータを提供し、その変動メカニズムと地球システムの中で果たす役割を理解するためにも非常に重要である。しかし、南大洋の海洋底の多くは、炭酸塩補償深度 (CCD) 以深であり、有孔虫化石を用いた連続的な酸素同位体比変動曲線の構築が難しい。そのため、詳細な年代層序が構築できず、同海域における古海洋研究の進展の大きな妨げになっている。一方、近年の海底堆積物の年代層序の構築において、堆積物から得られる過去の地磁気強度データを用いる手法が注目されつつある (Brachfield et al., 2003; Willmott et al., 2006 など)。これは、対象となる堆積物から相対的な古地磁気強度変動曲線を構築し、標準となる古地磁気強度変動記録 (例えば NAPIS-75; Laj et al., 2000) に対比することで年代モデルを構築するものである。

本研究は、白鳳丸 KH07-4 航海によって南極海リュツォ・ホルム湾沖から採取されたピストンコア、LHB-3PC を対象とした。LHB-3PC コアは、全長約 730 cm で、南緯 66 度、東経 40 度、水深 4469 m から採取された。主に、遠洋性軟泥からなり、一部に砂層を挟む。同コアから、7 cc キューブを用いて連続的に試料を採取し、各種の岩石・古地磁気測定 (NRM および ARM) を行った。そして、詳細な相対的古地磁気強度変動曲線を復元し、その変動パターンを過去 80 万年間の相対古地磁気強度推定記録をコンパイルして求めた標準古地磁気強度変動記録 (Sint-800; Guyodo and Valet, 1999) に対比することで年代モデルを構築した (右図)。この年代モデルに基づくと、LHB-3PC コアは約 60 万年分の連続的な地層記録を持つことが示唆された。しかし、現時点では珪藻などの微化石年代が得られておらず、本年代モデルは暫定的

なものとなっている。

今後は、微化石年代の報告を待つと共に、未測定 of 岩石磁気実験を進めることで、より詳細な年代モデルを構築する。また、堆積物岩相、物性、および組成の解析を進め、過去の同海域における氷床変動の復元を目指す。本講演では、これら研究結果の進展報告と今後の展望を紹介する予定である。

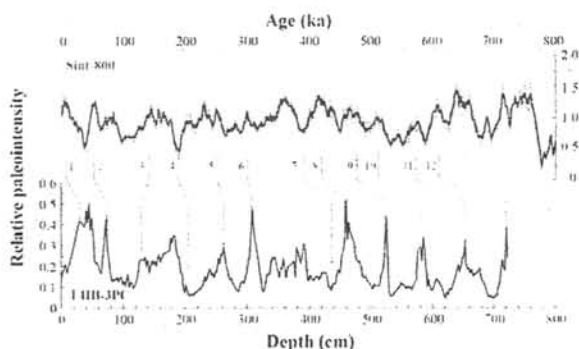


Figure. Comparison of the relative paleointensity records between the LHB-3PC and the global paleointensity stack Sint-800 (Guyodo and Valet, 1999).

Guyodo, Y., and J. P. Valet (1999), Global changes in intensity of the Earth's magnetic field during the past 800 kyr, *Nature*, 399, 249-252.

Laj, C., C. Kissel, A. Mazaud, J. E. T. Channell, and J. Beer (2000), North Atlantic palaeointensity stack since 75 ka (NAPIS-75) and the duration of the Laschamp event, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series a-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 358, 1009-1025.

Brachfield, S., E. Domack, C. Kissel, C. Laj, A. Leventer, S. Ishman, R. Gilbert, A. Camerlenghi, and L. B. Eglinton (2003), Holocene history of the Larsen-A Ice Shelf constrained by geomagnetic paleointensity dating, *Geology*, 31, 749-752.

Willmott, V., E. W. Domack, M. Canals, and S. Brachfield (2006), A high resolution relative paleointensity record from the Gerlache-Boyd paleo-ice stream region, northern Antarctic Peninsula, *Quaternary Research*, 66, 1-11.

地中レーダーを用いたスバルバルの アイスウェッジ及びソイルウェッジの分布と内部構造の解析

渡邊 達也, 松岡 憲知 (筑波大)

Distribution and Structure of Ice and Soil Wedges in Svalbard, Sounded with the Ground-Penetrating Radar

Tatsuya Watanabe, Norikazu Matsuoka (University of Tsukuba)

1. はじめに

不淘汰型多角形土を縁取るトラフの下に発達する楔型構造は、氷（アイスウェッジ）または砂礫などの堆積物（ソイルウェッジ、サンドウェッジ）で充填される。楔型構造のタイプは、気候や堆積物の違いを反映するため、地表面形態から楔型構造の判別をすることは難しい。北極圏スバルバル諸島最大の島であるスピッツベルゲン島では、狭い範囲にアイスウェッジとソイルウェッジが共存するため、それらの分布が不明瞭である。本研究は、地中レーダー探査を主な手法として、同島中央部における不淘汰型多角形土の分布と内部構造に関して調査を行った。

2. 調査地域

スピッツベルゲン島中央部（北緯約 78°）の沿岸部（カップリンネ）、及び内陸部（アドベントダーレン）で調査を行った。暖流の影響により、高緯度にも関わらず年平均気温が $-4 \sim -6^{\circ}\text{C}$ と比較的温暖な気候である。カップリンネでは、氷河融解後の隆起で発達した砂礫質の海岸段丘面と泥炭層が堆積した湿地帯に多角形土が分布する。一方、アドベントダーレンでは、レスで覆われた河成段丘面に多角形土がみられる。

3. 方法

2006～2008 年の夏季（6～8 月）に、250 MHz のアンテナを利用して地中レーダー探査を実施するとともに、多角形網の作図を行った。また、地下の楔型構造に対する地中レーダーの精度を確かめるために、特徴的な反射がみられた地点でトレンチ及びボーリングを行い、実際の構造との比較を行った。

4. 結果

沿岸部の海成段丘面上では、比較的小規模で浅いトラフが直径 5～15 m の比較密な多角形網を形成している。これらのトラフを対象とした探査では、地表面付近から放物線型反射が生じた。トレンチ調査から、それらがソイルウェッジを表すことが示された。同じ段丘面上でも、散在する幅広で深いトラフにおいては、地表面と永久凍土面からそれぞれ下方に伸びる二重の放物線反射が表れた（図 1-A）。これらの反射は、それぞれソイルウェッジとアイスウェッジを表すことがボーリングやトレンチ調査によって判明した（図 1-B）。湿地帯ではトラフが散在的に分布し、多角形模様は不明瞭であった。湿潤な条件であるため、電磁波の減衰が著しかったものの、トラフの地点において、比較的浅い深度から小さな放物線型反射がみられた。トレンチ調査を行った結果、活動層厚が約 30 cm と薄く、深さ約 40 cm でアイスウェッジが確認された。

内陸地域の河成段丘面上に発達する多角形土では、ソイルウェッジを示す反射は不明瞭であったが、探査した全てのトラフにおいてアイスウェッジを示す放物線型反射が表れた。ボーリング調査との対比から、放物線型反射の上面がアイスウェッジの上面幅に対応することが分かった。また、著しく幅広で深いトラフにおいては、アイスウェッジの上面が水平の反射で表された。

5. 考察

ソイルウェッジを示す反射は、沿岸部で明瞭であったものの、内陸部では不明瞭であった。沿岸部では、周囲の海成層とソイルウェッジの間で粒度組成および含水率の違いによって反射が引き起こされたと考えられる。一方、内陸部では周囲の堆積層との

物性の違いが小さいため、反射が生じなかったと考えられる。

地中レーダーの反射パターンから、内陸部のアイスウェッジは幅が数十 cm~3 m 以上と多様である。多角形土の細分化による二次、三次の新たなアイスウェッジの形成が進んでいるためと考えられる。一方、沿岸部のアイスウェッジは、いずれも幅が数十 cm 程度と細いものが分布するとみられる。海岸段丘面でのトレンチ断面(図 1-B)でみられた有機質の貫入構造は、最近のクラック活動を示唆するものと考えられる。その構造は、永久凍土層まで達していないことから、アイスウェッジの成長は停滞している可能性がある。また、湿地帯ではソイルウェッジが

泥炭で充填されており、泥炭層の堆積とともに楔型構造(アイスウェッジ)の成長が始まったと考えられる。ゆえに、永久凍土まで達するクラックの発生頻度が低いこと、形成年代が新しいことなどが、幅の細いアイスウェッジの分布要因として挙げられる。

内陸部のアイスウェッジを伴うトラフ、沿岸部のソイルウェッジを伴うトラフが典型的な多角形網を形成する一方、沿岸部のアイスウェッジを伴うトラフは、単発的に長く伸びるパターンを示す。このような分布パターンは、他地域にみられない特異なもので、現段階で形成過程を説明するのは難しいが、地温や凍土物性の変化を反映したものであろう。

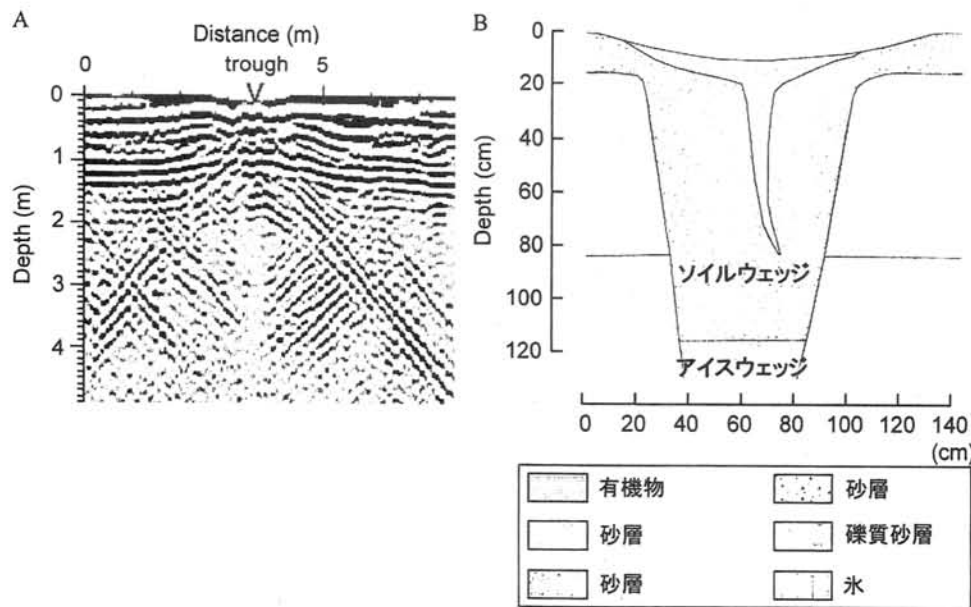


図 1 沿岸部でアイスウェッジが観察された地点の地中レーダー断面図(A)とトレンチ断面図(B).

ユーラシア極域部の最下部マントル D'' 層の構造推定

小早川麻衣, 山田朗 (愛媛大)

Structure of the D'' layer in the lowermost mantle beneath polar region of Eurasia

Mai Kobayakawa, Akira Yamada (Ehime Univ.)

はじめに

核-マントル境界(CMB)直上約100-300kmの厚さのD''層は熱境界層 (Lay and Garnero [2004])であるので、横方向に強い不均質構造をしていると考えられている。D''層の特徴を統一的に説明できるPv- pPv相転移(Tsuchiya et al. [2004], Murakami et al.[2004])が、この層の有力な成因と考えられている。

Thomas et al. (2004)や Hernlund et al. (2005)では、ユーラシア大陸下のD''層内で深さの異なる2つの地震波不連続面を検出している。もしD''層の成因が相転移であるならば、検出された2つの地震波不連続面は、Pv-pPvのクラペイロン勾配と地温分布が2点で交わることにより生じる Double crossing modelで説明できる。Double crossing modelは、核が高温の場合やマントルが低温の場合、D''層内で温度勾配が大きくなるため生じると考えられ、Double crossingの有無によってCMB近傍の温度構造の推定ができる。本研究では、世界各地に分布している地震観測網のデータを使用してD''層からの反射波を検出し、ユーラシア極域下のCMB近傍の構造推定を試みる。

データ

使用するデータはIMS (International Monitoring System) arrayで、1996年1月から2003年12月までに記録された短周期地震計による地震波形である。IMS-arrayは小口径のアレーがグローバルに分布している観測網である。用いたデータの選別基準は以下の4つである。(1)鉛直成分の地震波形記録でS/N比が良好なもの、(2)震源の深さが100 km以深、(3)実体波マグニチュード5.5以上、(4)震央距離 60

75°。選別した地震波形データに0.5 - 1.5 Hzのバンドパスフィルターをかけ、linear stackingとphase-weighted stackingを適用し重合波形を得る。

結果

解析結果はPcPの先行波が2つ、1つ、検出なしの3通りとなった(図1)。先行波を2つ検出した重合波形を図2に示す。3通りの反射面は無秩序に分布しておらず、2つの反射面と0個の反射面は隣り合い、1つの反射面はそれを囲うように分布している。

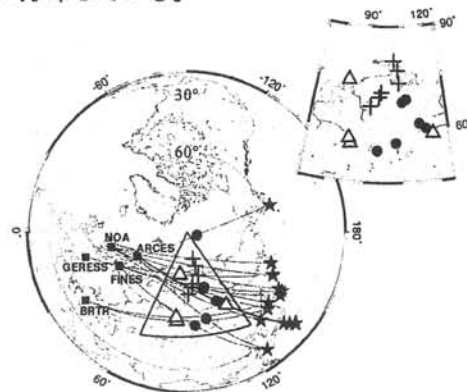


図1. (左)本研究で得られた反射面の分布図。震源を星、観測点を四角、先行波を検出なしを十字、1つ検出を三角、2つ検出を黒丸で示す。(右)反射面の分布の拡大図。シンボルは左図と同様。

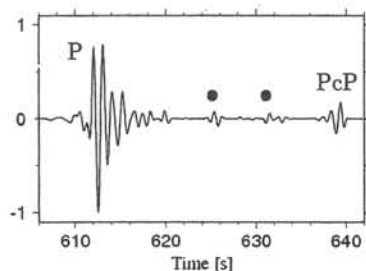


図2. 先行波を2つ検出した重合波形例。先行波を黒丸で示す。

統計学的手法 (ETAS モデル) による南極プレートの地震活動の解析

姫野 哲人 (情報・システム研究機構 新領域融合研究センター)・
金尾 政紀 (国立極地研究所)・尾形 良彦 (統計数理研究所)

The analysis of the seismicity in the Antarctica Plate by the statistical method (ETAS model)

Tetsuto Himeno (Research Organization of Information and Systems, Transdisciplinary Research Integration Center),

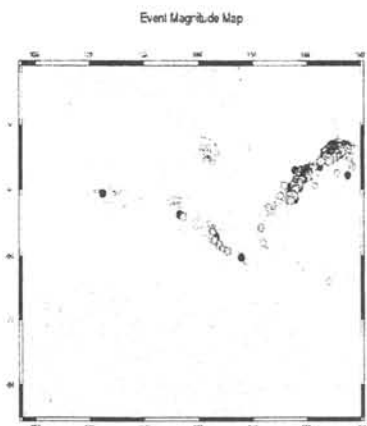
Masaki Kanao (National Institute of Polar Research), Yoshihiko Ogata (The Institute of Statistical Mathematics)

本研究の目的は、南極プレートでの地震活動に対し、統計的手法を適用し、地震活動の状態を調べることである。たとえば、南極プレートでは、1998年3月25日にマグニチュード8.2のバレンー地震が発生している。下図の左はバレンー地震発生以前の地震の分布で、右はバレンー地震発生の余震が落ち着いた後の地震の分布である。これらの図を見比べてみると、図の中心あたりに新たな断層ができたような地震分布が見て取れる。しかし、これが本当にバレンー地震によって地震の発生の仕方が変わったのか、それとも余震の影響がまだ続いているのかわからない。そこで、統計的手法を用いて、その前後での地震発生の確率的構造を調べることを考える。ここで用いる統計手法は、時空間 ETAS モデルといわれるモデルをデータにあてはめる方法である (Ogata (1998))。この手法は、

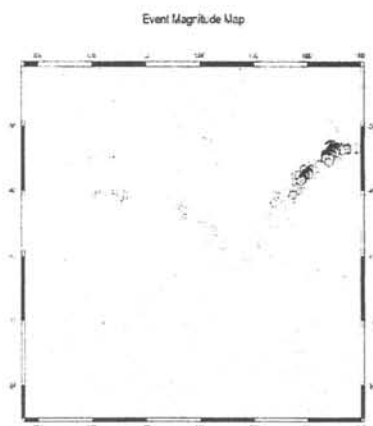
地震の発生時刻 $\{t_i\}$ と位置 $\{(x_i, y_i)\}$ とマグニチュード $\{M_i\}$ を記録し、これを用いて地震の発生頻度を表す強度関数 $\lambda(t, x, y)$ を定義し、尤度関数として非定常ポアソン過程を使い

$$\log L(\theta) = \sum_{i=1}^N \log \lambda_{\theta}(t_i, x_i, y_i | H) - \int_S \int_A \lambda_{\theta}(t, x, y | H) dt dx dy$$

とするものである。ここで、 $[S, T]$ は地震データの時間区間、 A は空間領域、 θ はパラメータ、 H は過去の地震データを表している。ここで重要なことは、地震発生頻度を表す強度関数をどのように定義するかということである。時空間 ETAS モデルでは、この強度関数を各地点ごとの定常的な地震発生確率を表す関数と、余震の発生頻度を表す関数の重ね合わせで表わす。



1964/1/1 から 1998/3/24 の地震データ



1999/9/1 から 2006/6/30 の地震データ

ここでまず、各地点ごとの定常的な地震の発生頻度を $\mu(x, y)$ とし、この関数をどのように求めるか紹介する。まず、地震データをクラスターごとに分割する MBC 法と呼ばれる方法を使い、余震を取り除いた本震だけのデータをつくる。次に、 $\mu(x, y) > 0$ でないといけないという性質から、 $\mu(x, y) = e^{B(x, y)}$ として $B(x, y)$ を求めることにする。この $B(x, y)$ は、双三次 B-スプライン関数と呼ばれる関数を使い、ベイズ法と呼ばれる統計手法と ABIC と呼ばれるモデル選択規準を用いて導出する。

次に余震の発生頻度の考え方に関しては、余震活動の経験法則から、余震の単位時間当りの発生頻度は推移時間 t に関して

$$\eta(t) = \frac{K}{(t + c)^p}$$

の様に逆べきに従って減衰するという改良大森公式(ここで、 K, c, p はパラメータ)と呼ばれるものがある。しかし、この改良大森公式だけでは、マグニチュードが大きいほうが余震の発生頻度が増加するという性質や、本震の発生位置から遠ざかるほど余震の発生頻度が減少するといった性質は説明できない。そこで、位置やマグニチュードに関する式を追加する必要がある。

そこで、距離とマグニチュードに関する関数

$$g(x, y, M) = \left(\frac{x^2 + y^2}{e^{\alpha(M - M_c)}} + d \right)^{-q}$$

を用いることを考える(ここでは、 α, d, q がパラメータで、 M_c はデータのマグニチュードの下限)。この関数は距離が大きいほど減少し、マグニチュードが大きいほど増加する関数となっている。

以上の関数を用いて、強度関数を

$$\lambda_\theta(t, x, y|H) = \nu\mu(x, y) + \sum_{t_j < t} \eta(t - t_j)g(x - x_j, y - y_j, M_j)$$

と定義する。この強度関数によって地震の発生頻度を表すモデルが時空間 ETAS モデルと呼ばれるものである。この強度関数を用いた尤度関数を最大にするようなパラメータ $\theta = (\nu, K, c, p, \alpha, d, q)$ を求めることで、地震発生の様子をみることができる。

実際の南極プレートでの地震データを用いたさまざまな数値シミュレーション結果については当日紹介する。

参考文献

- [1] Ogata, Y. (1998). Space-time point-process models for earthquake occurrences, *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, Vol. 50, No. 2, pp. 379-402.

地球中心を伝播する地震波のモデリング

豊国源知・竹中博士 (九大・理・地惑)

Modeling of seismic wave propagation through the Earth's center

Genti Toyokuni and Hiroshi Takenaka (Kyushu Univ.)

1. はじめに

地球のダイナミクスや進化史を知る手がかりは現在の地球内部構造にある。これまで地球内部構造の推定は、地震波の走時情報のみを利用する走時トモグラフィが担ってきたが、近年は良質な地震波形記録の蓄積とコンピュータ資源の増大により、地震波記録の持つ情報すべて(走時・振幅・波形)を最大限に活用する、波形インバージョンが現実的になっている。波形インバージョンは、理論波形と観測波形とが一致するように、構造モデルを変えながら実際の構造を推定していく手法であり、理論波形の繰り返し計算が必要となる。このため、ツールである理論波形計算手法には、精度が良いことに加え少ない計算時間・計算メモリで計算できる効率の良さが望まれる。横方向の不均質を含む現実的な地球モデルを用いた理論波形の計算は、差分法などの領域的な数値解法に頼らざるを得ないが、現在3次元構造を対象に3次元波動を計算(=3次元モデリング)するには、膨大な計算資源が必要となる。これに対し2次元構造を対象とした2次元波動の計算(=2次元モデリング)は、計算資源は少なくて済むものの、3次元波動の幾何減衰やパルス形状を正しく評価できないという欠点がある。

これらの制約から従来、全地球を対象とした理論波形の計算では、精度と効率のよい手法として「軸対称モデリング」が用いられてきた(Igel & Weber, 1995, 1996; Chaljub & Tarantola, 1997; Igel & Gungundsson,

1997; Thomas *et al.*, 2000)。軸対称モデリングは、震源を置いた軸の周りに軸対称な構造を仮定して、球座標系での地震波の支配方程式を解き、構造モデルの2次元断面中を伝播する地震波を計算する手法である。2次元断面のみに着目するため、計算メモリ・計算時間が2次元モデリング並みに少なくて済むうえ、3次元波動の幾何減衰やパルス形状を正しく評価できる。

2. これまでの成果

2-1. 準球座標系差分法

ところが従来の軸対称モデリングでは、その軸対称性のため、軸をはさんで非対称な構造が扱えないという重大な問題が存在した。Toyokuni *et al.* (2005)は、従来の球座標領域と座標のとり方を変えた「準球座標領域」を導入することでこの問題を克服した。従来の軸対称モデリングに関する問題は、球座標系での支配方程式を解く際に、通常球座標領域($0 < r < \infty$, $0 \leq \theta \leq \pi$, $-\pi \leq \phi \leq \pi$)を用いていたために引き起こされていた。すなわち、通常球座標領域では地球の大円に沿った構造断面は、 $\phi = 0$ と $\phi = \pi$ におかれた2枚の半円板で表されるため、 $\phi = 0$ の面に、ある任意の構造を適用すると、軸対称性により $\phi = \pi$ の面における構造は $\phi = 0$ のものと対称にならざるを得なかった(図1a)。一方、準球座標領域($0 < r < \infty$, $-\pi \leq \theta \leq \pi$, $-\pi/2 \leq \phi \leq \pi/2$)では、地球の大円に沿った構造断面は $\phi = 0$ における円板1枚のみで表されるため、この面には軸対称で

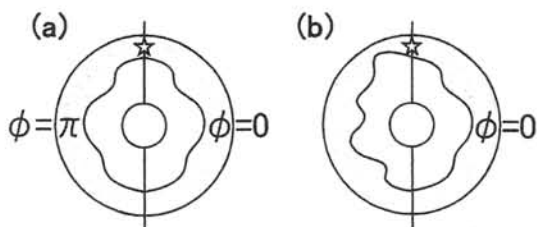


図1: 従来の球座標領域(a)と準球座標領域(b)

はない、任意の不均質構造モデルを適用できる(図1b)。「準球座標系差分法」は、球座標系における地震波の支配方程式を、準球座標領域を用いて差分法で解く手法であり、従来の軸対称モデリングの利点をそのまま引き継ぎ、さらに任意の不均質構造断面中を伝播する地震波をモデリングできる。

2-2. モーメントテンソル震源の導入

また従来の差分法による軸対称モデリングでは断層型震源は取り扱われておらず、計算は爆破型震源やSH波震源などの軸対称震源を用いたものに限られていた。*Toyokuni & Takenaka* (2006)は、差分法を用いた軸対称モデリングで任意のモーメントテンソル点震源の入力に成功した。任意のモーメントテンソル震源を ϕ 依存性によって5つの独立した要素モーメントテンソルに分解した後、各要素モーメントテンソルについて独立な展開係数の方程式を解くことで、任意のモーメントテンソル点震源を入力した軸対称差分計算が可能となった。

現実的な構造・震源を用いた計算例として、フィジーで大規模な深発地震が発生した際、ニュージーランド直下のCMB上に存在する正の地震波速度異常が、南極大陸上で記録さ

れる地震波形に及ぼす影響を調べた(図2)。震源には1994年フィジー深発地震($M_w = 7.5$)と同じメカニズムを与えた。図2(b)はこの計算で得られた波形から標準地球モデル(IASP91)で計算された波形を引いた差分スナップショットであり、地震波速度異常により影響を受けたフェーズ(ScS や $sScS$)が大振幅で南極に到達している様子が見て取れる。

2-3. 計算精度の向上

さらに*Toyokuni & Takenaka* (2008)は、差分格子内部の任意の位置に存在する不連続面の影響を正しく扱えるよう、実効差分格子パラメータを導入し、全地球差分計算の精度を向上させた。通常、差分法では、差分格子上以外の場所に構造の不連続が存在する場合、その影響を正しく考慮することができない。この問題は、差分格子内で密度については積分算術平均を、弾性定数については積分調和平均を計算し、この値を新たな格子パラメータ(=実効差分格子パラメータ)として用いれば回避できることが知られている(*Moczo et al.*, 2002)。通常、実効差分格子パラメータの計算に必要な積分は数値積分により計算されるが、我々は代表的な標準地球モデル(PREM, IASP91, SP6, AK135)が多項式の形で与えられていることを利用し、積分を解析的に計算する手法を考案した。この手法は球座標系でのグローバルな計算だけでなく、4つの標準地球モデルを用いるあらゆる差分計算で汎用的に利用可能なものであるため、Fortranサブルーチンとしてコードを公開した。

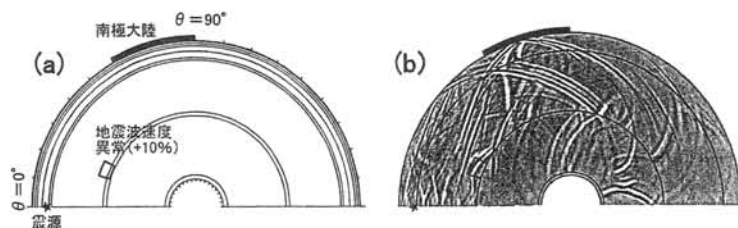


図2: 深部異常構造モデルによる計算例:(a)モデル配置(星印:震源, 太線:南極大陸の角度範囲)(b)励起後1200秒の差分スナップショット(粒子速度の r 成分)

3. 地球中心の取り扱い

地球中心 ($r=0$) は球座標系での支配方程式の特異点である上、球座標系による差分格子を用いると、横方向の格子間隔が中心付近で著しく小さくなるため、解の安定条件が崩れてしまう。これらの問題のため、これまでの我々の計算では、地球の中心部分を通してくる波をモデリングできなかった。本発表では、この地球中心の取り扱いについて述べる。

地球中心付近でも解の安定条件を崩さず計算が行えるよう、格子サイズの異なる複数の格子を動径方向に接続した不連続格子 (= マルチドメイン: Aoi & Fujiwara, 1999; Thomas et al., 2000) を導入した。マルチドメインは Thomas et al. (2000) による格子と同様、横方向の格子間隔が地球中心へ向かって2倍ずつ粗くなっていく複数の格子領域を接続したものをを用いた (図 3)。各格子領域では θ 方向には等間隔格子、 r 方向には不等間隔格子 (Pitarka, 1999) を使っている。格子領域間の変数の受け渡しには Fourier 補間を用い、人工的に生じた高波数成分は波数フィルターで同時に落とすようにした。それぞれの格子領域では時間2次・空間4次のスタガード格子差分を適用し、領域の接合部でも空間4次精度を保つため、Thomas et al. (2000) の格子よりも広い範囲に補間を適用した。また地球中心における特異点問題は、中心での値のみデカルト座標で差分を取ることで回避した。

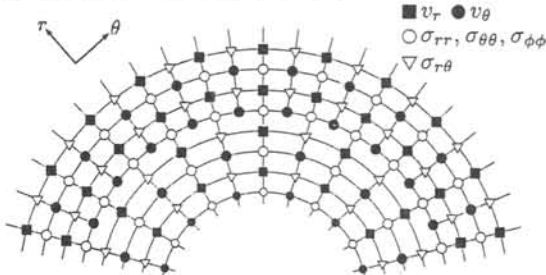


図 3: 本研究で用いたマルチドメインの模式図

計算例として均質地球モデル ($V_p=8.02$ km/s, $V_s=4.44$ km/s, $\rho=3.36$ g/cm³) を用い、爆破型震源を適用したケースでの結果を示す。地球中心から地表まで8層の格子領域を接合したマルチドメインで計算を行った。横方向の格子数は最下層で32、最上層で4096である。差分の時間間隔は0.1 sとした。震源は $\theta=0^\circ$ の深さ2520 kmにおき、震源時間関数にはパルス幅60 sのベル型関数を用いた。励起後3000 sの地震波伝播のスナップショットを図4に示す。

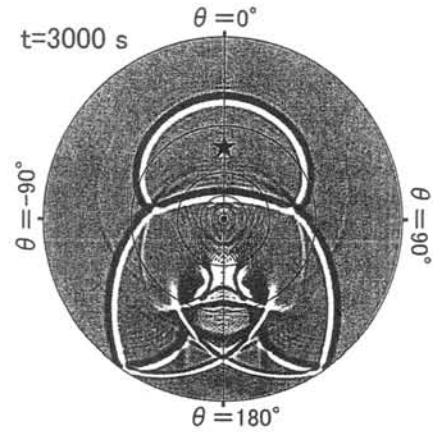


図 4: 励起後 3000 s の P - SV 波伝播のスナップショット (粒子速度の r 成分)
星印: 震源, 黒線: 格子領域の境界

- [1] Aoi & Fujiwara, BSSA, 89, 918 (1999).
- [2] Chaljub & Tarantola, GRL, 24, 2613 (1997).
- [3] Igel & Gudmundsson, PEPI, 104, 229 (1997).
- [4] Igel & Weber, GRL, 22, 731 (1995).
- [5] Igel & Weber, GRL, 23, 415 (1996).
- [6] Moczo, Kristek, Vavryčuk, Archuleta & Halada, BSSA, 92, 3042 (2002).
- [7] Pitarka, BSSA, 89, 54 (1999).
- [8] Thomas, Igel, Weber & Scherbaum, GJI, 141, 307 (2000).
- [9] Toyokuni, Takenaka, Wang & Kennett, GRL, 32, L09305, doi:10.1029/2004GL022180 (2005).
- [10] Toyokuni & Takenaka, EPS, 58, e29 (2006).
- [11] Toyokuni & Takenaka, CAGEO, in press (2008).

SYOWA におけるインフラサウンド観測の展望

山本 真行 (高知工科大学), 石原 吉明 (国立天文台),
 金尾 政紀 (国立極地研究所), 戸田 茂 (愛知教育大学)

Foresight of infrasound observation at SYOWA

Masa-yuki Yamamoto (Kochi University of Technology),
 Yoshiaki Ishihara (National Astronomical Observatory of Japan),
 Masaki Kanao (National Institute of Polar Research), and
 Shigeru Toda (Aichi University of Education)

インフラサウンド帯域の可能性

インフラサウンドは人間の可聴域下限周波数(20Hz)以下の音波(空気振動)をさし、大規模な爆発現象、例えば核実験等の人工起因の現象や火山噴火等の自然現象により発生する。音波とインフラサウンドの境界には特に物理的な意味あいはなく、人間の可聴周波数下限を境界する呼称であるが、音波の減衰は空気の粘性に拠るため、低周波ほど減衰の影響を受けにくい特性を持つ。この長距離伝播特性から地球物理現象の検出に適した周波数帯域として新たな展開が期待される領域である。

インフラサウンドの励起が期待され、地球物理学的研究に繋がる例として、以下のような可能性があると考えている。

- ・雷放電を音源とするインフラサウンドの観測
- ・隕石落下・流星による衝撃波の観測
- ・人工飛翔体大気圏再突入時の衝撃波観測
- ・火山噴火の観測
- ・大規模土砂災害・雪崩・氷床崩壊の検出
- ・核爆発など人工的な爆発現象の探索
- ・大気-海面・地表面カップリング過程のエネルギー伝搬推定
- ・同カップリング過程を通した地震・津波による励起の検出
- ・スプライトなど成層圏～中間圏の放電現象 TLE による励起の検出
- ・オーロラによる励起の可能性

ここに挙げた例については、既に観測例の研究報告がある場合もあり、特に国際的には安全保障上の諸問題の解決に向けた国際的取組みの1つとして CTBTO (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization) による核実験検知網が構築されつつある状況下で、取得データは安全保障上の利用のみならず、地球物理学的側面の研究への応用も進んでいる。特に学際領域研究が国際的に

盛んな近年では、インフラサウンドの長距離伝搬性や地球の領域間上下結合に焦点を絞った研究報告が増えている。

しかしながら日本国内の観測は CTBTO 観測点 が1地点(千葉県いすみ市: 日本気象協会が運用) 稼働しているほかは未発達であり、早急な観測網の確立が望まれる。具体的には、例えば1辺 1000km~100km のスパンにてメッシュ状に広範囲にセンサを数多く設置することができれば、インフラサウンドの到来方向・波源を特定できると期待され、我々は国内におけるインフラサウンド観測ネットワークの構築を検討中である。

国内におけるインフラサウンド観測について

国内におけるインフラサウンド観測は 1984 年以降、田平(愛知教育大)により着手された。米国 Chaparral Physics 製センサ(写真1)を3セット用いて1辺 500m 程度の三角形にアレイ設置し、同大学内(愛知県刈谷市)の1観測点にてモニタリング観測、方向探知、波源推定が進められた。火山噴火、地震、海の波、積乱雲、火球、飛行機、人工的爆発等によると推定されたインフラサウンドの観測例が報告されている(e.g. 田平, 1992)。



写真1 インフラサウンド観測センサ
 (Chaparral Physics 製 Model 2)

一方、Ishihara et al.(2004)によれば、火球（大規模な流星）の大気圏突入時の衝撃波が大気―地表面カップリング過程を経て表面設置の地震計群により捉えられ、流星軌道が推定された。大気振動の同時計測はなかったものの、インフラサウンド帯域での大気伝搬が確定的で、さらに大気―地表面カップリング過程を経て地震計により検出された例と言える。

インフラサウンドの観測点の整備に関しては、既存センサが（性能やメーカーにも依存するが）1台につき数10万～数100万程度と高価なため、仮に1観測点に3センサ以上のアレイ設置を条件として多地点観測を見込む場合には大変なコストがかかる点が問題である。

廉価版センサの開発と比較校正実験

高知工科大学では2005年より0.01～100Hz範囲の検知が可能な廉価なインフラサウンド計測センサの開発に着手し(和泉他, 2006)、ピエゾフィルムを用いた廉価版センサのプロトタイプ(写真2)の開発に成功した(山本, 石原, 2008)。

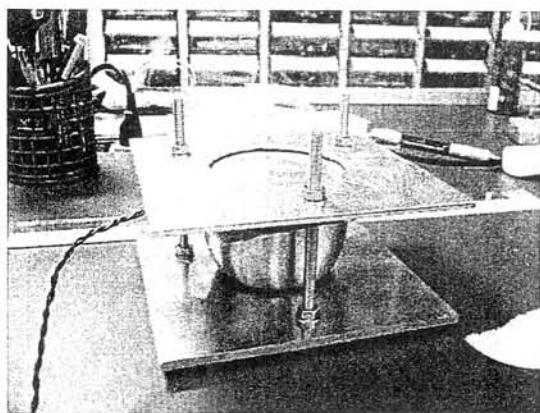


写真2 廉価版インフラサウンド計測センサ

既存センサとの同時計測実験では周波数感度特性や絶対値校正のための適切な校正用波源を得ることが困難であったため、2007年7月にJAXA内之浦宇宙空間観測所にセンサを設置し、ロケット打上げ時にはその轟音を用いた校正実験を実施しつつ、約1年間に渡るモニタリング観測を実施した(写真3)。

1) ロケットを用いた校正実験

実験A: S-520-23号機打上げ時のインフラサウンドは19時20分0.8秒(打上げより0.8秒後:図1A



写真3 内之浦におけるセンサ設置状況
1辺約3mの三角形配置とした

の赤線)、2つのChaparralセンサによる大振幅な波形観測に成功した。

実験B: 月探査機KAGUYAを搭載したH2Aロケット打上げ時のインフラサウンドは、小振幅ながら、10時35分33秒(打上げ4分32秒後:同B)、95km離れた内之浦にて計測できた。

実験C: S-310-38号機打上げ時のインフラサウンドは18時14分40.8秒(打上げより0.8秒後:同C)、2つのChaparralセンサによる大振幅な観測に成功した。



図1 ロケット打上げ時のインフラサウンド波形。
A: 上から、既存センサ1, 2, 3, 廉価版センサ、B: 上から、既存センサ1, 2, 廉価版センサ、C: 上から、既存センサ1, 2の波形を示す。

2) 考察

実験Aの結果より、既存センサ1と廉価版センサは異様な波形を計測しており、同一ケース内に設置した両センサ出力同士に異常なカップリングが生じたと考える。調査の結果、何らかの電気的狀況の変化や雷雨等の気象条件の変化に対応し同様のデータを一時的に記録した日が過去にもあつ

たため、電氣的にセンサ同士が接触したか、アース接地状況等に問題が生じたためと推察する。

同時計測できたデータを解析した結果、絶対強度の面でピエゾ素子による廉価版センサはやや劣るものの、0.1~1Hz 帯域付近の観測に関しては観測可能なことが判明した。20Hz 前後に関してはローパスフィルタのカットオフにより電源ノイズの影響を抑えたため、感度が既存センサに劣るものの、問題はないと考える。生データからは廉価版センサによる 0.1Hz 以下 0.01Hz までの領域の計測の可否は判然としない。2007 年 11 月以降、廉価版インフラサウンドセンサのバイアスがどんどん低下していく現象が発生した。膜面にピエゾフィルムを貼る構造のため、膜面との位置関係の経年変化を検出した可能性が考えうる。

実験 C の結果より、観測ロケット S-310-38 号機打上げで励起されたインフラサウンドを観測する際、Chaparral センサによるデータ同士が同期しているものの極性が反転している。これは実験 B と実験 C の実施日の間に、無停電電源装置(UPS)を設置の際 Chaparral2 側の極性を逆に繋いでしまったためと推察される。

実験 A 及び C の振幅の差は、S-520 号ロケットが S-310 号ロケットに比べ推力が3~4倍生じていることでほぼ説明できる。波形の読み取りからでは両実験により生じたインフラサウンドが各センサに到達する時刻の差は、センサ同士の距離が近い場合明確には検出できなかった。

3) まとめ

ロケット射場である JAXA 内之浦宇宙空間観測所に、既存および新規開発のインフラサウンドセンサを設置し、同所での2機の観測ロケット打上げに伴うインフラサウンドの計測に成功した。さらに内之浦より南に 95km 離れた JAXA 種子島宇宙センターにおける H2A ロケットの打上げに伴うインフラサウンドの計測にも成功し、インフラサウンドの 100km スパンの伝搬を確認できた。

新規開発センサによるインフラサウンドの比較計測にも成功したが、既存センサに比べ絶対強度や DC オフセットの面でまだ問題が多く、到来時刻の検出は可能であるものの、絶対値を含めたセンシングには更なる試行実験と開発が必要である状況である。

現在、収集したデータを元に、1)インフラサウンドの到来方向や発生規模の把握、2)ロケット起

源インフラサウンドのスペクトル解析、3)データ収録ソフトの時刻整合における問題点の修正、4)新規開発インフラサウンドセンサの改良または新方式の検討、を高知工科大学において進めている。

SYOWA におけるパイロット観測について

我々は、2008 年 1 月より南極昭和基地でのモニタリング観測も開始した。SYOWA 地震計室脇の岩盤上にインフラサウンドセンサ 1 台を設置し、観測を開始している。設置状況や初期結果に関しては、本シンポジウムの石原他による発表(本収録)を参照されたい。

インフラサウンド観測の展望

今後の方針として、以下の点を列挙しておく。これらは現在進行中のものもあるが、実現までに時間を要するものも多い。1)国内におけるインフラサウンド観測網を約 300km メッシュで整備すること、2)日本周辺地域で発生する自然および人工起因インフラサウンドの検出、3)インフラサウンド波源の三次元空間位置の決定、4)地球物理現象に伴うインフラサウンド発生源の同定、5)インフラサウンド帯域における新たなリモートセンシング手法の確立、である。

SYOWA およびその周辺の観測については、JARE 将来計画との整合性を取りつつ進めていく必要があり、領域間結合や人工の音源から離れた静寂な環境である SYOWA の特性や、極域環境を生かした計画への発展と観測の継続が重要である。

謝辞：本研究の一部は、科学技術振興機構(JST)サテライト高知より、平成 18 年度 FS 研究課題として支援を受け進められました。センサ設置にご協力頂いた JAXA 宇宙科学研究本部の阿部琢美先生および同内之浦宇宙空間観測所の井出郁夫氏に感謝申し上げます。

参考文献：

- Ishihara, Y., M. Furumoto, S. Sakai, and S. Tsukada, The 2003 Kanto large bolide's trajectory determined from shockwaves recorded by a seismic network and images taken by a video camera, *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 14-1, doi:10.1029/2004GL020287.
- 石原吉明, 山本真行, 広域アレー観測点ネットワークによるインフラサウンド観測の提案, 月刊地球, **28**, 647-651, 2006.
- 和泉好則, 梶野学, 石原吉明, 山本真行, 新方式インフラサウンド計測技術の開発, 日本地球惑星科学連合 2006 大会, S205-P006, 2006.
- 田平誠, 火山噴火によって発生するインフラサウンドについて, 日本音響学会誌, **48**, 742-748, 1992.
- 山本真行, 石原吉明, インフラサウンド計測センサ, 特許出願 2008-134750, 2008.

GRACE衛星重力データによる南極氷床変動の研究 -気圧補正誤差の除去による経年変化の再計算-

山本圭香（総合地球環境学研究所），福田洋一（京都大学大学院理学研究科），

土井浩一郎（国立極地研究所）

Study of ice sheet mass variation in Antarctica using GRACE satellite gravity data- Removal of atmospheric correction error and recalculation of the interannual mass trend-

Keiko Yamamoto (RIHN), Yoichi Fukuda (Kyoto University), Koichiro Doi (NIPR)

南極における氷床変動の正確な見積もりは、南極の研究のみにとどまらず、グローバルな海面変動の研究にとっても重要な課題である。2002年に打ち上げられたGRACE衛星は、地球の重力場の時間変化を約1ヶ月の時間分解能で提供しており、それより、地球の質量変動の時間変化を知ることが可能である。GRACEデータから南極氷床変動を見積もることの利点は、大陸スケールといった比較的大きな氷床の変動を、質量の変化として直接測定できることである。

しかしながら、南極では氷床変動以外にもポストグレイシャルリバウンド(PGR)による質量変動の影響が大きく、GRACEデータから氷床変動の経年変化のトレンドを得るには、GRACEから得られたトレンドから、PGRの影響を見積もって差し引かねばならない。PGRによる質量変動の影響の見積もり方法の1つは、モデルから得られる数値を使用することである。しかしながら、現段階では利用可能ないくつかのモデルの値のばらつきが非常に大きいため、どのPGRモデルを使用するかによって、氷床変動量の見積もりには大きな差が生じる。PGRの影響の見積もりのもう1つの方法は、ICESat衛星高度計データをGRACEデータと組み合わせることである。GRACEから得られるPGRおよび氷床変動による質量変化の情報と、ICESatから得られる氷床変動による高度変化の情報とを比較することにより、原理的にはPGRによる質量変動を知ることが可能であり、これは既存のPGRモデル改良のための拘束条件としても役立つ。われわれは

これまでに、GRACEデータとICESatデータを用いて、PGRの質量トレンドの見積もりをおこない、質量変動の経年トレンドが大きな地域（たとえば南極半島からFilchner-Ronne Ice Shelvesにいたる地域）に対してはPGRによる質量トレンドとして妥当な数値が得られた。しかしながら、トレンドが顕著でない地域に対しては、GRACEおよびICESat衛星のデータの誤差が大きいことが原因で、十分に意味のある誤差範囲内でのPGR質量変動の見積もりは難しかった。

本研究では、特にGRACEデータの気圧補正誤差に注目し、それを見積もり、補正することによって、トレンドが小さい地域に対してのPGR、氷床変動の見積もりを改善し、より信頼のおける大陸スケールのPGRおよび氷床質量トレンドの見積もりを得ることを目的とした。

過去の衛星高度計による観測結果から、南極大陸全体の氷床の変動は明確な年周変動成分が卓越し、それにゆるやかな経年とれんどが加わった形をしていることがわかっており、これにPGRのトレンドが加わったGRACEから得られる南極の質量変化も、年周変化に経年トレンドが加わった形に近くなるはずである。しかしながら、図1に示すように、GRACEから得られる質量変動では明確な年周変動が観察できていない。

考えられる主な要因として、大気の短周期成分の除去が不完全なことに由来するエイリアシング誤差の影響がある。GRACEの1ヶ月ごとの重力場解を得るには、エイリアシングの影響を防ぐためにモデルによる短周期変動成分の除

去が行われており、大気成分の除去には ECMWF の大気客観解析データが使用されているが、南極では、主に十分に精度の高い地上および衛星観測データが不足していることが原因で、他の地域に比べ誤差が大きいと予想される。

本研究ではまず、GRACE の 1 ヶ月解と、同じくデータセンターからリリースされている AOD データ(使用した大気モデルの 1 ヶ月平均成分)との相関を調べた。また、中緯度地域の大気モデリングが比較的うまくいっている地域での積雪データと大気データの相関がどの程度あるかを調べた。これらの情報をもとに、大気の 1 ヶ月平均成分の除去残差を見積もって GRACE 1 ヶ月解から取り除いた。

次に、残りの南極の GRACE 重力場の時系列が氷床変動成分、PGR 成分、大気短周期成分の不十分な除去によるエイリアシング誤差で説明できると仮定し、GRACE 解と個々の成分との時間および空間的な相関を調べ、最小二乗法によりエイリアシング誤差の成分を見積もった。その際、氷床変動成分の見積もりには ICESat から得られた氷床高度変化のデータを利用した。

最終的に、大気の補正誤差を取り除いた GRACE 解を用い、南極氷床の変動、PGR によるトレンドを再評価し、これにより、質量変動が比較的小さな地域の氷床変動、PGR 成分の見積もりがどの程度改善されるか、また、南極大陸全体の氷床変動の不確実性がどの程度減少するかについて評価をおこなった。

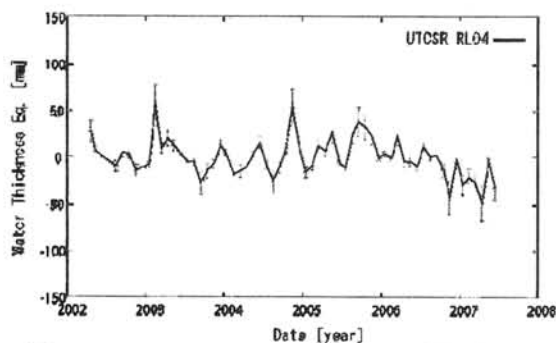


図 1 GRACE (UTCSR RL04)により得られた質量変動(南極大陸全体での平均値)

南極における電離層擾乱の GPS 観測

新井直樹 伊藤 実 星野尾一明 土井浩一郎 青山雄一 渋谷和雄
(独)電子航法研究所, 国立極地研究所

Ionospheric Disturbances Observed by GPS in Antarctica

Naoki Arai Minoru Ito Kazuaki Hoshino Koichiro Doi Yuichi Aoyama Kazuo Shibuya
Electronic Navigation Research Institute, National Institute of Polar Research

1. まえがき

GPS 等を用いた測位の利用拡大に伴って、測位結果の信頼性の確保が重要となってきた。しかし GPS による測位は電離層の活動によって大きな影響を受け、電離層の状態によっては測位精度の低下、さらには測位不能の状態を引き起こす場合がある。

近年、高緯度地域の電離層擾乱の影響が中緯度地域に拡大する可能性があることが知られており、日本付近における GPS による測位への影響が懸念されている。そのため極域において GPS 観測を行い、電離層擾乱の挙動について評価する必要がある。

そこで第 48 次南極地域観測隊に参加し、昭和基地において高速サンプリングの GPS 観測を行って、電離層擾乱の発生及び GPS への影響について評価することとした(図 1)。

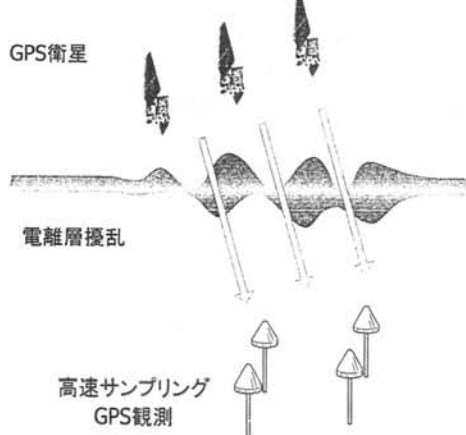


図 1 観測のイメージ

2. 観測の概要

第 48 次隊は 2006 年末に昭和基地に接岸し、直ちに物資輸送を開始するとともに、基地内の建設工事、道路整備を行った。2007 年 2 月、昭和基地内に電離層擾乱観測の GPS 受信機を設置した。GPS 受信機には JAVAD Lexon-GGD を用いた。観測の状況を写真 1~3 に示す。1 ヶ月ほどの予備観測の後、本観測を開始した。サンプリング周期は 10Hz、データの収集は 24 時間連続して行った。

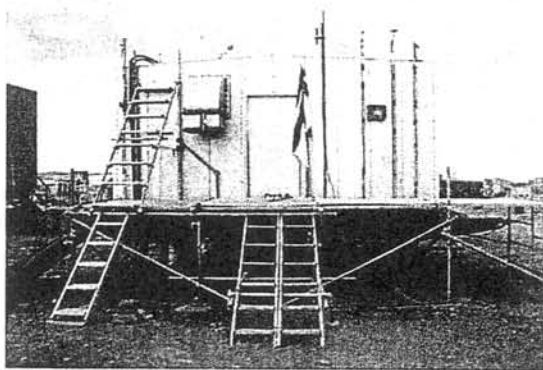


写真 1 電離層擾乱観測用 GPS アンテナの設置
(電離層棟)

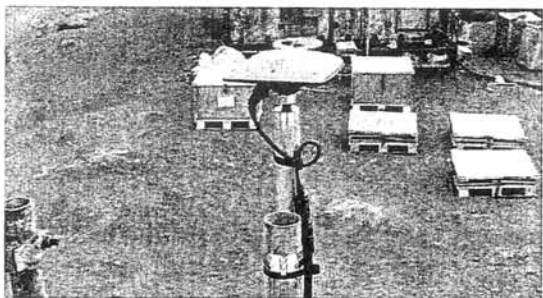


写真 2 電離層擾乱観測用 GPS アンテナ

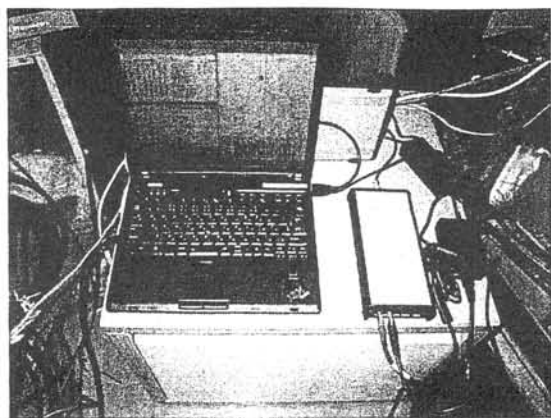


写真 3 電離層擾乱観測用 GPS 受信機

図 2 に GPS の 2 周波から求めた電離層遅延量の変化を、写真 4～6 に同時刻のオーロラの状況を示す。強いオーロラの発生に同期して、電離層遅延量に大きな変動が見られた。また図 2 においてグラフが連続していない箇所があるが、これは電離層擾乱によって GPS 信号の位相及び強度等が急激に変化し、GPS 受信機のロックはずれが生じたことによるものである。

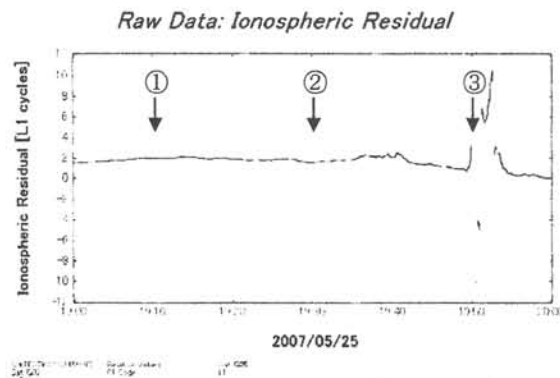


図 2 オーロラ発生時の電離層遅延量の変化

3. あとがき

南極・昭和基地において、初めて高速サンプリングの GPS 観測を連続して行った。越冬完了までに約 9 ヶ月間の連続観測データを取得し、2008 年 4 月に観測データを国内に持ち帰った。持ち帰ったデータは今後も解析を継続し、特にオーロラの発生時期との関連に着目して評価を行う予定である。



写真 4 オーロラの状況①(2007.5.25 19:10UTC)

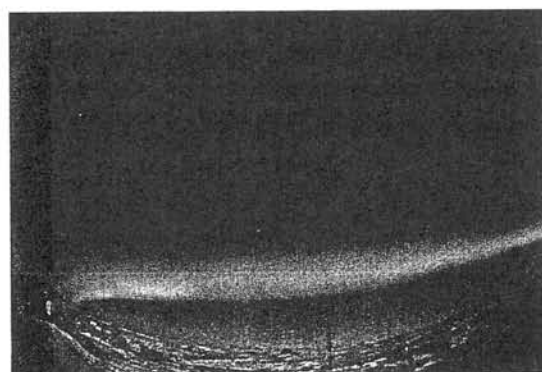


写真 5 オーロラの状況②(2007.5.25 19:30UTC)



写真 6 オーロラの状況③(2007.5.25 19:50UTC)

Lバンド干渉 SAR による南極海岸域の観測

大村 誠 (高知女子大学), 小池克明・吉田博明 (熊本大学), 山之口 勤 (RESTEC)
中村和樹 (産業技術総合研究所), 澁谷和雄・土井浩一郎 (国立極地研究所)

L-band Interferometric SAR Observations of Coast Region of the Antarctica

Makoto Omura (Kochi Women's Univ.), Katsuaki Koike・Hiroaki Yoshida (Kumamoto Univ.),
Tsutomu Yamanokuchi (RESTEC), Kazuki Nakamura (AIST),
Kazuo Shibuya・Koichiro Doi (NIPR)

1. はじめに

地球環境変化をモニタリングする上で、南極氷床・氷河の変動やその質量収支は、もっとも重要な観測対象のひとつである。氷床・氷河の変動を詳細に推定する手法として、天候や太陽光の条件によらず、面的な観測が可能な衛星搭載 SAR (Synthetic Aperture Radar, 合成開口レーダー) データの干渉処理がある。同一の地域を、同一の特性をもった SAR で繰り返し観測し、これらの SAR データを干渉させることによって、表面の形状やその変動を面的に観測することができる。

これまでに、南極・昭和基地に設置された 11 m φ 多目的パラボラアンテナ (平澤ほか, 1990) によって、1991 年より、European Earth Remote Sensing Satellite 1 (ERS-1) と ERS-2 および日本の Japanese Earth Resources Satellite 1 (JERS-1, ふよう 1 号) に搭載された SAR によって取得されたデータが受信され、国立極地研究所でアーカイブ後に解析されている。また、2006 年 1 月には、日本の Advanced Land Observing Satellite (ALOS, 陸域観測技術衛星「だいち」) が打ち上げられ、それに搭載された PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar, フェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダー) は順調に稼働して、全世界の観測データが蓄積されている。

日本の衛星搭載 SAR は L バンド (波長約 24 cm) を採用してきたが、他国の衛星搭載 SAR は C または X バンド (波長約 6 cm または 3 cm) を採用している。C および X バンドに比べて、L バンドには複数回の観測におけるアンテナ間の距離 (基線長) や観測時間間隔の長さについて、干渉ペア取得の制約が緩いなどの利点がある。JERS-1 は 1998 年に運用が終わり、2006 年の ALOS/PALSAR 運用開始まで L バンドの衛星搭載 SAR データは取得されなかった。

ともに L バンドの JERS-1/SAR と ALOS/PALSAR で観測された南極の海岸域、アムンゼン湾周辺の干渉処理結果について予備的に報告する。

2. アムンゼン湾の干渉 SAR 観測

アムンゼン湾は JARE の主な研究対象地域のひとつであり、各種の観測・調査が実施されてきた。干渉 SAR 観測についても、これまでいくつかの例がある (たとえば, Omura *et al.*, 2003)。

Fig. 1 は、JERS-1 SAR による干渉処理結果の一例である。観測日は 1996 年 11 月 26 日と 1997 年 1 月 9 日で、観測間隔は 44 日間 (1 回帰) である。垂直基線長は 451 m で、広い範囲で大変よく干渉している。

一方、Fig. 2 は ALOS/PALSAR データの干渉処理結果である。今回準備した 3 シーンの PALSAR データのうち、ALOS の 1 回帰 (46 日) 後のペアの観測日は 2006 年 11 月 28 日と 2007 年 1 月 13 日であった。コヒーレンスも低く、破線の矩形で囲んだ中央の一部を除いてほとんど干渉していない。季節は同じなので、干渉性の低下の原因は、おもに PALSAR のペアの垂直基線長が 1463 m と長いためであると思われる。今回の 3 シーン間の組み合わせでは垂直基線長が 1.1 km~2.6 km と長く、干渉処理には適していなかった。

3. まとめ

南極アムンゼン湾周辺についての L バンド衛星搭載 SAR データの干渉処理を行い、JERS-1/SAR と ALOS/PALSAR の比較を行った。しかし、ALOS/PALSAR では基線長が長すぎて良好な処理結果が得られなかった。今後さらに、基線長の短いペアが得られることを待つ必要がある。

PALSAR データについては、ERSDAC (Earth Remote Sensing Data Analysis Center: 財団法人 資源・環境観測解析センター) から配付を受けた。JERS-1/SAR データについては JAXA (宇宙航空研究開発機構) と極地研究所の間の MOU に基づいて使用した。JERS-1/SAR データは JARE による南極昭和基地での直接受信により取得されたものであり、関係者に感謝いたします。JERS-1/SAR および ALOS/PALSAR のオリジナルデータの所有権は JAXA および経済産業省 (METI) にあります。

参考文献

平澤威男, 江尻全機, 稲田隆, 大橋清一, 遠藤和仁, 葛屋亮司, 岡本博, 長尾利彦, 斉藤信太郎, 千葉雅樹 (1990): 多目的衛星データ受信設備, NEC 技報, 43, 73-94.

Makoto Omura, Katsuaki Koike, Koichiro Doi, Kazuo Shibuya, Shigeru Aoki (2003): INSAR OBSERVATION OF THE AMUNDSEN BAY, ANTARCTICA, IUGG2003 Abstracts Week B., JSG03/09P/D-001, B. 20, IUGG2003, Sapporo, Japan, June 30 - July 11, 2003.

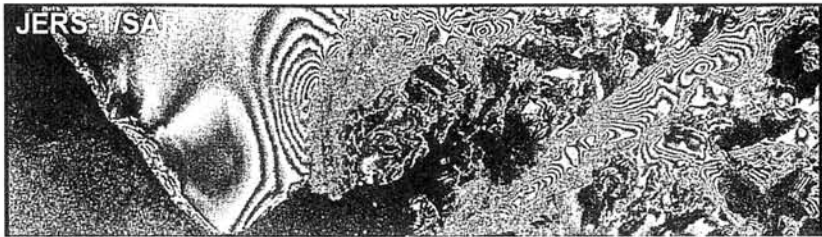


Fig. 1. An example of InSAR image of JERS-1/SAR
26 Nov. 1996 - 9 Jan. 1997 (44 days, Bperp = 451 m)

10 km

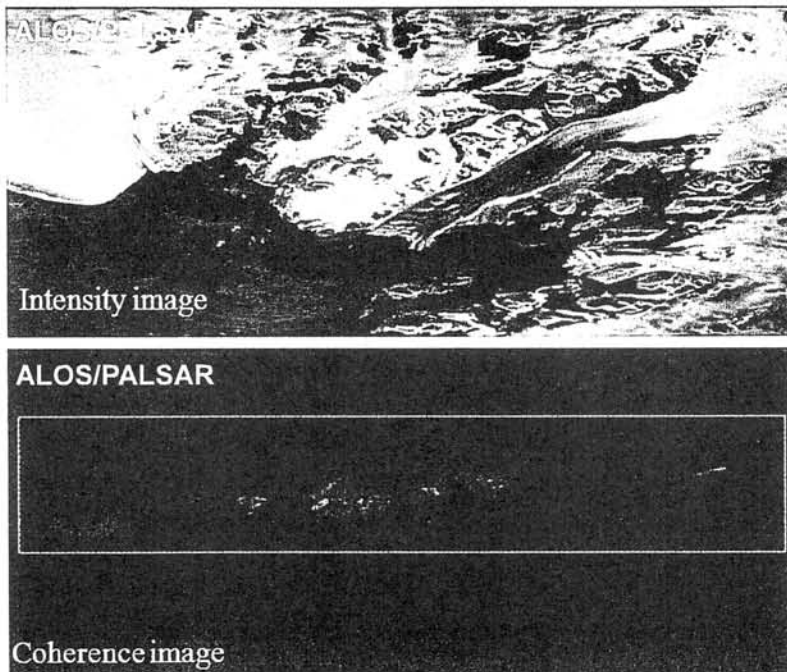


Fig. 2. Examples of the preliminary ALOS/PALSAR Interferograms.
28 Nov. 2006 - 13 Jan. 2007 (46 days, Bperp = 1463 m)
White parts in the dashed rectangle in the Coherence image show parts of rather high coherence.

ラングホブデやつで沢上流の氷河ダムの地形学的研究

澤柿教伸（北大）・三浦英樹（極地研）・岩崎正吾（広島大）

Geomorphological study on a glacial dam in Yatsude-valley, Langhovde

Takanobu Sawagaki (Hokkaido Univ.), Hideki Miura (NIPR), Shogo Iwasaki (Hiroshima Univ.)

1. はじめに

JARE47 の夏期オペレーション中に、ラングホブデ・やつで沢上流にある氷河ダムの下流側の氷壁に、円形の穴が開いているのが確認され(図 1)、第27 回極域地学シンポジウムでその概要を報告した(澤柿・岩崎, 2007)。

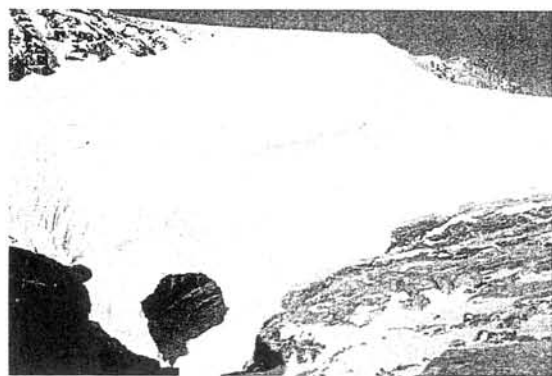


図 1 やつで沢上流の氷河ダムに開いた氷洞

氷河ダムの氷壁の中腹に洞口が開き、その内部に空間が広がっているという事実は、過去および将来において、氷河ダムから排水が発生したりダム自体が決壊したりする可能性を強く示唆するものであり、下流域の谷の地形発達や、上流の湖の盛衰を考える上で重要な鍵となる。本発表では、新たに判明した事実と気象学・雪氷学的知見を加えて、その意義を考察する。

2. 氷河ダムと氷洞の概要

やつで沢の上流には、谷を横断するように東側から伸びる氷河があって、その上流側には、この氷河によってせき止湖が形成されている。氷洞の洞口は、この氷河ダムの氷壁の中央部に開いており、氷洞内部にはさらに大きな空間が広がっている。側壁は垂直な基盤岩で、その上を氷河氷が蓋をするように覆っている。氷河ダムより下流のやつで沢の側壁はほぼ垂直に切れたっており、U字谷底がさらに函谷状に掘りこまれた二段構造をなし、垂直の基盤岩からなる氷洞内の側壁は、この二段構造の

下部函谷地形に連続している。氷洞内の側壁が示す函状の基盤地形は、氷河ダムから貯水を放出する洪水吐 (Spillway) をなしているものと解釈でき、また、やつで沢全体の二段構造は、氷床拡大期に形成された U 字谷が、氷床後退後(あるいは氷河ダム形成後)に突発した水流によってさらに下刻されたものと解釈できる(図 2)。

河口付近にみられる平坦な河床地形や、海拔高度 11m と 18m 付近に平坦面を持つ段丘堆積物の特徴は、かつて、河床礫を運搬・堆積させるような相当量の流水がやつで沢を流下していた事を意味するが、そこから産出する貝化石の炭素年代が 5kyPB と 6.8kyBP を示すことから、少なくとも 6.8kyBP 以前あるいは 5-6.8kyBP 間には、このようなダム内の洪水吐を経路として突発的な排水現象が発生していた可能性が考えられる。

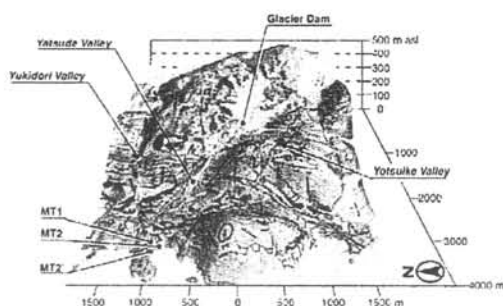


図 2 やつで沢周辺の 3D 地形学図

3. 過去の観察事例の発掘

JARE46 では、氷河ダムの下流側は氷壁となっていたことが確認されている。また、JARE34-35 夏オペにおける筆者自身の観察でも氷河ダムに穴は開いていなかった。一方、JARE24 当時、氷河ダム下流側に穴が開いていたのを目撃したという証言および写真を得ることができた(神田私信)。

この新事実に基づけば、JARE24 前後の時期に一旦開いた氷洞口が、JARE34 以前には閉じてしまうようなメカニズムが必要であり、氷河の流動やドリフトの埋積などが考

えられよう。この場合でも、氷洞の全てが閉じたわけではなく、下流側の開口部だけが部分的に閉じた可能性が高い。

また、JARE47 の時期になって再び氷洞口が開いた要因として気象学的な要因が考えられるが、過去40年間の昭和基地における夏季(12月と1月)の月平均気温をみても、これらの時期と対応するような顕著な温暖化は認められなかった(図3)。

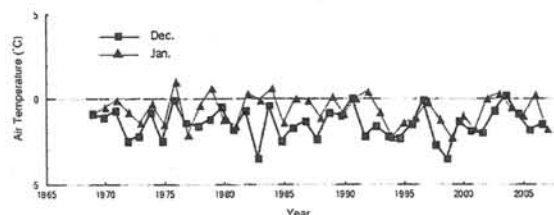


図3 昭和基地における
夏季融解期の月平均気温の推移

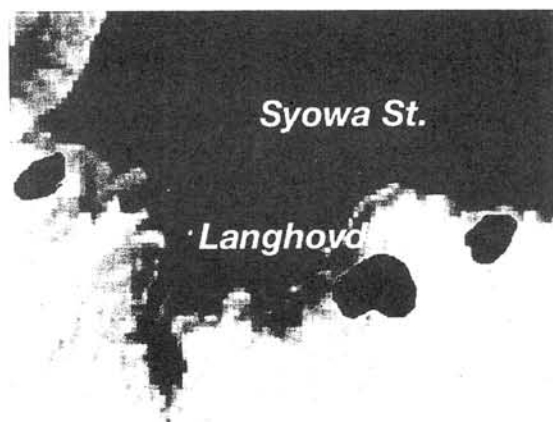


図4 NASA's QuikScat satellite detected extensive areas of snowmelt in west Antarctica in January 2005. 黒いエリアが顕著な融雪が認められた範囲。

一方、Sone, et al. (2007)は、2004-05年の夏季に南極半島で氷河堰止め湖の決壊が発生していたことを報告しており、またNASAのQuickSat衛星の観測では、同じ2005年に、西南極地域の氷床表面で顕著な融雪が発生していたことが報告されている(図4)。この図の中で昭和基地周辺をみると、ラングホブデの上流域に顕著な融雪域が示されている。これらの融雪や氷河湖決壊は、やつ

で沢の氷洞の出現の1年前にあたることから、前の夏季に南極地域で広範囲に認められる顕著な融雪に伴って、堰き止め湖の水量が増加し、氷河ダム内の洞穴チャンネルを通じて排水されるための水理学的条件が整ったものと推測される。

4. 今後の課題

昭和基地の月平均気温だけでは、顕著な融雪の説明は困難であるが、degree day factor等を用いて日ごとの融解指数を求めたり、放射やアルベドなどの他の気象要素との関連を調べたりして、さらに詳しく検討していく必要があるだろう。

また、氷期・間氷期の気候変動復元もさることながら、近年では完新世を通じた気候変動の頻度や強度についても注目されており、氷床変動には大きく影響しないとは考えられるものの、南極氷床縁辺部に記録されている、気候変動に対応した現象として氷河ダムの変動とその下流域であるやつで沢の地形発達史に注目していく必要がある。

参考文献

- Hirakawa K., Ono Y., Hayashi M., Aniya M., Iwata S., Fujiwara K., Moriwaki K., Yoshida Y. (1984): Antarctic Geomorphological Map of Langhovde. Special Map Series of National Institute of Polar Research No.1, National Institute of Polar Research, Tokyo, Japan.
- 澤柿教伸・岩崎正吾 (2007): ラングホブデやつで沢上流の氷河ダムに開いた氷洞が示唆する地形発達学的意義. 第27回極域地学シンポジウム. 要旨集, 70-72.
- Sone, T., Fukui, K., Strelin, J., Torielli, C.A., and Mori, J., (2007): Glacier lake outburst flood on James Ross Island, Antarctic Peninsula region. Polish Polar Research, 28 (1), 3-12

過去 13 万年間の西北極海メンデレーフリッジの古海洋環境 変遷

山本正伸（北大院地球環境）・レオニドポリャク（オハイオ州立大）

Paleoenvironmental changes in the Mendeleev Ridge, western Arctic Ocean
during the last 130 kyr

Masanobu Yamamoto (Hokkaido Univ.), Leonid Polyak (Ohio State Univ.)

将来の気候変化を予測する上で、気候変動における北極域の役割を解明することが急務である。過去の北極海の環境を復元することは北極域の役割を解明するためのひとつの手段であるが、北極海堆積物は一般に貧化石であり、微古生物学的手法による古環境研究に制約が多い。そこで、近年バイオマーカーを用いた古環境復元が期待されている。

本研究では、HOTRAX' 05 においてメンデレーフ海嶺から採取された HLY0503-08JPC コアの後期第四紀堆積物の n-アルカンとテトラエーテル脂質 (GDGT) を分析し、過去 13 万年間の北極海への陸起源有機物の流れ込みを復元した。長鎖 n-アルカンと GDGT の濃度は堆積物の色調の変化 (灰色層と褐色層の互層) に対応して周期的 (約 2 万年周期) に変動する。氷期および亜氷期に堆積した灰色層は高等

植物起源 n-アルカン (高 CPI) と分枝 GDGT に富み、陸上植物と土壤有機物の寄与が大きい。これらの化合物は大陸氷床による陸上土壌の浸食によりもたらされたと考えられる。BIT 指標は灰色層よりも褐色層で低く、間氷期および亜間氷期では北極海でのクレンアーキオータの生産が高まったことが示唆された。熟成有機物起源 n-アルカン (低 CPI) はスパイクピーク状に高濃度を示し、過去 13 万年間の層内で 16 本のピークが認められた。いくつかの高濃度ピークはユーラシア氷床崩壊と淡水流出のタイミングと一致しており、アイスダム湖の崩壊にともなう基盤岩の浸食により、熟成有機物がもたらされたと考えられる。この熟成有機物ピークは、北極域における氷床の崩壊史を復元する手がかりになりうる。

新しい第四紀後期南極氷床融解史の構築

奥野 淳一・三浦 英樹 (極地研)

New melting history of Antarctic ice sheet from late Quaternary inferred from GIA modeling

Jun'ichi Okuno, Hideki Miura (NIPR)

過去約 2 万年間の海水準変動は、最終氷期以降の主な氷床の融解史を推定するための重要な観測値である。過去 2 万年間の海水準変動の観測値を用い、glacial isostatic adjustment(GIA) のモデリングによる理論値と比較して氷床融解史を推定する研究は 1980 年代後半から精力的に行われてきた (例えば、Nakada and Lambeck, 1988; Tushingham and Peltier, 1991 など)。最終氷期の氷床域から離れた地域 (far-field) での最終氷期から約 6000 年前までの海面変化は主に地球全体での氷床融解史に依存し、地球内部粘性構造に鈍感なため、氷床全体の融解史の時間変化、および全地球的な氷床融解量の推定に有効である (例えば、Nakada and Lambeck, 1988; Okuno and Nakada, 1999; Yokoyama et al., 2000)。これに対し北アメリカやスカンジナビア半島などの最終氷期氷床域での海水準変動は、ローカルな氷床の融解史に依存するため、それぞれの地域での融解史を推定する研究も広く行われている (Lambeck, 1995; Kaufmann, 1997)。

一方南極表氷床に関しては、1981年にアメリカでまとめられた約2万年前の世界各地における最終氷期最盛期 (Last Glacial Maximum: LGM) の氷床分布図が示された「世界の第四紀古気候に関する研究計画 (CLIMAP)」が挙げられる。しかし、この当時の南極氷床変動に関する地形地質学的観測値は、西南極のロス海周辺のわずかなものに限られており、南極氷床は、北半球氷床の発達に伴う海水準の低下によって、受動的に大陸棚の末端まで拡大したと考えられた。この考え方を適用し、南極におけるLGMの氷床拡大範囲は、南極大陸縁辺部の大陸棚末端の位置をほぼつなぐ線によって復元された。ところが、ロス海と異なり、東南極周辺の大陸棚末端の深度は600mと深く、氷期における約150m程度の海水準低下では、氷床は大陸棚末端まで着底することはできないという問題点が指摘されている。

実際の南極における第四紀の海水準変動については、南極大陸周辺の沿岸のいくつかの地点において、約 1 万年前から 5 千年前の間の高海面期が報告されている (例えば Hayashi and Yoshida, 1994)。その主な原因は、氷床の融解による海面上昇と固体地球の変形に伴うジオイドの変化と考えられる。Nakada et al. (2000) では、現在までに報告された南極周辺の海面変動の観測値をもとに、GIA のモデリングを行い南極氷床の融解モデルを作成することを試みている。そこで提案されたモデルは、12000年から融解が始まり、その融解量は全地球的な海面上昇に対し7~17 m程度であると主張している。これらのモデルは南極大陸内陸部に対しての解像度は低く、空間分布も南極半島を主として融解しているというモデルである。また、Ivins and James (2005)は、最近の高精度化した衛星を含めた測地観測と整合的な新しい南極氷床融解史モデルを提案している。それによると、主な融解地域はロス海および南極横断山脈地域であり、内陸部はほとんど融解していないというモデルとなっている。

このようにさまざまなモデルが提案されているが、まだまだ改良すべき点を抱えている。まず提案されているモデルは、CLIMAPモデルを出発点としているため、氷床の面的最大拡大範囲が、大陸棚末端にまで及んでいる点である。これに加えて、南極氷床の融解開始の年代が約12000年前であり、これに対する明確な根拠はない。このような問題点に対し、GIA のモデリングより南極大陸縁辺部の第四紀地殻変動を詳細に解析することにより、LGMからの融解史を修正することが本研究の目的である。また、2000年以降蓄積されている外国基地の相対的海水準変動のデータを反映させ、さらに測地観測とも整合的なモデルを本講演において提案する予定である。

表面照射年代から示唆される第四紀後期の東南極氷床変動と氷床底の状態

山根雅子、横山祐典(東大院・理)、三浦英樹(極地研)、
前杵英明(広大院・教育)、岩崎正吾(広大院・文)、松崎浩之(東大院・工)

Late Quaternary East Antarctic Ice Sheet history and basal conditions Deduced from *in-situ* cosmogenic exposure dating

Masako Yamane, Yusuke Yokoyama (Grad. Sch. Sci., Univ. Tokyo),
Hideki Miura (NIPR), Hideaki Maemoku (Grad. Sch. Edu., Hiroshima Univ.),
Shogo Iwasaki (Grad. Sch. Let., Hiroshima Univ.),
Hiroyuki Matsuzaki (Grad. Sch. Eng., Univ. Tokyo)

《背景》

氷床底の状態（融解しているか、凍結しているか）は、その安定性を考える上で重要な要素のひとつである。北半球氷床の表面照射年代法を用いた研究から、最終氷期に拡大した氷床は底面凍結型であったことが報告されている（例えば、Stroeven *et al.*, 2002; Miller *et al.*, 2006）。しかし近年、氷床底の状態は一樣ではなく、融解している部分と凍結している部分がパッチ状に存在している可能性が示唆されている。Hall and Glasser (2003) や Bradwell *et al.* (2008) は基盤岩に残された地形から、過去の氷床底の状態が一樣ではなかったことを報告している。

本研究は、氷床後退後の基盤岩および迷子石の浸食速度は等しいと仮定し、基盤岩と迷子石の露出年代の比較から、第四紀後期の東南極氷床変動と氷床底の状態を復元することを目的とする。

《手法》

表面照射年代法は、二次宇宙線の作用により地表面に露出している岩石の石英中に生成される宇宙線照射生成核種の濃度から、地表面が宇宙線にさらされた期間（露出年代）を直接求める手法である（横山ほか, 2005）。従って、この手法を用いると露岩域の露出年代を直接測定が可能となり、過去の氷床変動

を復元することができる（例えば、Nishiizumi *et al.*, 1991）。また半減期の異なる二つの核種の比（本研究では $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ 比）から、岩石が氷床の再拡大による、十分に長い埋没を受けたか否かを知ることができるため、本研究では、石英中の ^{10}Be （半減期 = 150 万年）と ^{26}Al （半減期 = 70 万年）を定量し、露出年代の決定を行った。試料の化学処理は、Kohl and Nishiizumi (1992) をにし、片麻岩用に新たな過程を加えた方法を用いた。加速器質量分析は東京大学工学系研究科国際原子力専攻のタンデム型加速器で行った。

《試料》

リュツォ・ホルム湾は東南極のドロンニング・モードランドに位置する。リュツォ・ホルム湾の東岸は宗谷海岸と呼ばれ、多数の露岩域が点在している。本研究では、これらの露岩域（オングル島、ラングホブデ北部および南部、スカルプスネス、スカーレン）から第 45 次南極地域観測隊によって採取された、基盤岩 24 試料と迷子石 16 試料（すべて片麻岩）を用いた。試料は、可能な限り基盤岩と迷子石のセットで採取した。

迷子石は、氷床が最後に後退した時に堆積したものであるため、その年代は最終退氷の時期を示していると考えることが出来る。一

方、基盤岩は氷床底が融解している場合には表面の削剥がおこるため、最終退氷の時期を表すと考えられるが、氷床底が凍結している場合には、基盤岩の表面は保存され、以前の宇宙線照射によって生成した核種が残留し、基盤岩の年代は最終退氷よりも古い年代を示す。このように、基盤岩と迷子石の年代の比較から、氷床底の状態を間接的に知ることが出来る。

《結果》

迷子石の年代値はすべての地域で完新世(<10ka)の値であった。一方、基盤岩の年代は、スカーレンの試料は完新世の値であったが、他の地域の試料は、完新世から35kaまでの値を示していた。また、基盤岩の一部の試料の $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ 比は単純な露出史を示す 6.1 ± 0.5 の範囲より明らかに低い値を示した。

《考察》

(1) 最終退氷の時期

迷子石の露出年代はすべて10ka以下を示していることから、本研究対象地域は完新世に最終退氷が起きたと考えられる。このことはそれ以前、すなわち最終氷期にこれらの地域は氷床に覆われていたことを示唆する。

(2) 最終氷期に拡大した氷床底の状態

スカーレンでは基盤岩の露出年代は迷子石とほぼ同じ年代を示していた。このことから、最終氷期に拡大した氷床は底面が融解していたと考えられる。

他の四地域(オングル島、ラングホブデ北部、ラングホブデ南部、スカルプスネス)の結果は、迷子石の露出年代と比べて基盤岩の露出年代は古い値を示していた。この理由は、基盤岩には最終退氷後に生成された核種と最終氷期以前に生成した核種が含まれているためであると考えられる。また、基盤岩は試料によって得られた露出年代に差があった。これらのことから、最終氷期にこれらの地域を

覆った氷床の底面の状態は一樣ではなく、凍結している部分と融解している部分が混在していた可能性が示唆された。

(3) 最終氷期以前の氷床後退の時期

迷子石よりも古い露出年代を持つ基盤岩や低い $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ 比を持つ試料の存在から、スカーレンを除いた四地域では最終氷期以前にも氷床が後退していた時期があったことが示唆され、これらの地域から採取された試料には最終氷期以前の氷床後退の履歴が残されていると考えられる。海洋堆積物コアの底生有孔虫の標準酸素同位体比曲線(SPECMAP)は主にグローバルな氷床量変動を記録している。このSPECMAPカーブと迷子石から得られた最終融氷のタイミングから、過去の間氷期の期間を推定し、その期間には宇宙線照射核種が生成し、氷期には氷床の拡大により宇宙線の遮断が起こったと仮定した。この仮定を用いると、本研究で得られた基盤岩の年代(核種量)は過去数回の間氷期に生成した核種の重ね合わせで説明することができた。このことから、第四紀後期に東南極氷床は融解・成長を繰り返していることが初めて示唆された。

《参考文献》

- Bradwell *et al.* (2008) *Geomorphology*, 97, 135-156.
Hall and Glasser (2003) *Boreas*, 32, 191-207.
Kohl and Nishiizumi (1992) *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56, 3583-3587.
Miller *et al.* (2006) *Quaternary Geochronology*, 1, 74-85.
Nishiizumi *et al.* (1991) *Earth and Planetary Science Letters*, 104, 440-454.
Stroeven *et al.* (2002) *Geomorphology*, 44, 145-154.
横山ほか (2005) *地質学雑誌*, 111, 693-700.

リュツォ・ホルム湾周辺における
最終氷期以前の東南極氷床変動の地形地質学的証拠

三浦英樹 (極地研)・南極第四紀環境変動研究グループ

Geological and geomorphological evidence for the retreat of EAIS
before the Last glaciation around the Lützow-Holm Bay region

Hideki Miura (NIPR), Antarctic Quaternary paleoenvironmental research group

1. はじめに

本発表では、リュツォ・ホルム湾の露岩域を中心に、過去14年間に、JAREを利用して多くの研究者が蓄積してきた野外調査と試料の解析による第四紀後期の東南極氷床変動に関する様々な証拠、データについて概観し、現時点での氷床変動史に関する考え方や解釈の相違点について示す。次に、野外における地形地質の観察に主点をおいて、東南極氷床変動像、証拠やデータの解釈について、筆頭演者の解釈についての考えを示す。特に、本要旨では、この議論に関連する、以下の2つの話題について紹介する。

2. “古い化石”を含むラングホブデ北部、水くぐり浦における“隆起海浜堆積物”の成因とその意義についての新しい考え

リュツォ・ホルム湾では、完新世の化石を含む隆起海浜堆積物はほぼ全域で認められるが、3~4.6万年14C yr BPを示す化石を含む隆起海浜堆積物はオングル諸島とラングホブデ北部に限られることが知られている (例えば、Miura et al., 1998)。ところが、アミノ酸ラセミ化年代を用いると、後者の3~4.6万年14C yr BPを示す化石は、さらに古い2つのグループに分けられることが明らかになり、より古い方のグループは放射性炭素年代の測定限界を超えた時代の化石を含む可能性が指摘された (Igarashi et al, 投稿中)。また、ラングホブデ北部からは、Plioceneの介形虫、珪藻、貝化石が報告された (加藤ほか, 1999; 森脇・三浦, 1999; 三浦ほか, 2004; Igarashi et al, 投稿中)。これらの“古い化石”を含む隆起海浜堆積物の解釈については、十分に合理的な解釈ができないまま、その後、進展がなかったと言える。

これらの“古い化石”を含むラングホブデ北部の水くぐり浦の露頭 (Mk-1~Mk-16: Igarashi et al.、

投稿中) を再調査したところ、この堆積物は、非常に固結しており、砂礫層をマトリックスとした角礫や円礫、亜円礫を挟み、隆起海浜堆積物よりも広い分布を示すこと、原地性の貝化石を含まず破碎された破片の貝化石しか含まないことなど、他の地点の隆起海浜堆積物とは層相が異なることが明らかになった。

これらの事実は、少なくとも、この水くぐり浦で認められた固結した堆積物が、単純な隆起海浜堆積物ではなく氷河堆積物であること、この堆積物に含まれる化石は氷床が前進したときに海底から運搬してきたこと、そしてその氷床の前進した時代は堆積物に含まれる、もっとも年代が新しい化石の年代よりあとの出来事であること、を意味する。

3. リュツォ・ホルム湾における露岩の風化状況の観察：ラングホブデ北部とオングル諸島の特異性とそれが宇宙線照射年代の計算に与える影響

リュツォ・ホルム湾の露岩については、基盤岩表面の風化状態からみて、北ほど氷床から露出した時期が早かったことも推測されていた (例えば、Yoshida, 1983など)。この事実は、隆起海浜に含まれる原地性の貝化石の年代分布からも、オングル諸島とラングホブデ北部はそれ以南とは氷床変動史が異なることが、支持された (例えば、Miura et al., 1998)。両地域における風化状況や地表面の履歴の違いを示す具体的な観察事実としては、以下のような事柄が挙げられる。

- ・ラングホブデ北部では、ペグマタイトの岩脈が差別侵食によって周囲よりも1m以上も突き出しているが、ラングホブデ南部以南の岩脈ではそのようなものは認められないこと、

- ・ ラングホブデ南部（特にスカーレン以南）では擦痕や氷床底の侵食地形が明瞭に残っているが、オングル諸島とラングホブデ北部では明瞭な氷食地形や擦痕はほとんど見つからない（少なくとも演者は見たことがない）こと、
- ・ ラングホブデ南部以南では、迷子石が凸状の地形上に認められるが、オングル諸島とラングホブデ北部では迷子石は相対的な凹地に認められること、
- ・ オングル諸島とラングホブデ北部では、礫層が著しいタフォニ風化を受けたり、砂漠ワニスが認められるが、ラングホブデ以南ではほとんど認められないこと。

ところで、最近、JARE-45においてリュツォ・ホルム湾北～中部の露岩域（オングル諸島、ラングホブデ、スカルスネス、スカーレン）から採取した基盤岩と迷子石試料を用いた宇宙線生成核種量の測定が行われ、定常的な侵食の影響がないと仮定すると、迷子石の年代値はすべての地域で完新世の値を示し、基盤岩の年代は、完新世から35kaまでの値を示した（山根、2008）。これらは、これまで明らかにされてきた隆起海滨堆積物と氷河堆積物の層位関係から明らかにされてきた氷床変動史と矛盾する。しかし、得られた核種量のデータに対して、どのような解釈が適当であるかは、現場やサンプリング地点の状況や、その場所の地史に照らし合わせて総合的に判断しなければならない（例えば、松四ほか、2008）。

Balco et al. (2008) による ^{10}Be と ^{26}Al の核種量を用いた露出年代と侵食速度をオンラインで計算する方法：CRONUS-Earth online calculators (ver. 2) (<http://hess.ess.washington.edu/math/>) では、次の13の入力事項を要求する：(1) 試料名、(2) 緯度、(3) 経度、(4) 標高、(5) 大気圧の対象地域（標準又は南極）、(6) 試料の採取層厚 (cm)、(7) 試料の密度 (g/cm^3)、(8) 地形的な遮蔽による補正 (1から0の間)、(9) 独立に観察された侵食速度 (cm/yr)、(10) ^{10}Be の核種量 ($\text{atoms}/\text{g}/\text{yr}$)、(11) ^{10}Be の核種量の誤差 ($\text{atoms}/\text{g}/\text{yr}$)、(12) ^{26}Al の核種量 ($\text{atoms}/\text{g}/\text{yr}$)、(13) ^{26}Al の核種量の誤差 ($\text{atoms}/\text{g}/\text{yr}$)。これらの入力項目の中では、(6) 試料の採取層厚 (cm)、(7) 試料の密度 (g/cm^3)、(8) 地形的な遮蔽による補正 (1から0の間)、(9) 独立に観察された侵食速度 (cm/yr) の4つの項目は、現実の計算では様々な値をとるが、ある仮定をおいて入

力し、計算する場合が多い。特に、「地形的な遮蔽による補正值」と「独立に観察された侵食速度」、の2つは、核種の生成率（＝年代の計算）に極めて大きな影響を与える。「地形的な遮蔽による補正」については、山地の陰になる採取地点、降雪によって年間の大部分が季節的に遮蔽される地点といった特殊条件について考慮が必要である。また、「独立に観察された侵食速度」については、実測値はまだ得られていないが、野外観察の結果から、シート状のブロック岩盤の削剥やペグマタイト岩脈の周囲における著しい表面の侵食が知られており、先に示したとおり、オングル島とラングホブデ北部の露岩は少なくとも侵食速度がゼロであるとは考えがたい。

本講演では、JARE-45で採取した各試料採取地点の周辺の状況および現地の風化状況を考慮して、これらの事項を入力値として計算した年代値を示して、様々な解釈（隆起海滨堆積物と氷河堆積物の層位関係をはじめとする、野外地形地質調査の観察結果をうまく説明する）が成り立つことを示す。

文献

- Balco, G., Stone, J.O., Lifton, N.A. and Dunai, T.J. (2008): A complex and easily accessible means of calculating surface exposure ages or erosion rates from ^{10}Be and ^{26}Al measurements. *Quaternary Geochronology*, 3, 174-195.
- Igarashi, A., Miura, H., Hart, C.P. (投稿中): Amino acid geochronology of fossil mollusca from elevated marine deposits of the Lützow-Holm Bay region-potential for the existence of pre-Quaternary fossils. *Antarctic Science*.
- Igarashi, A., Whitehead, J.M., Hart, C.P., Kato, M., Miura, H. (投稿中): Pre-Quaternary fossils from elevated marine deposits of Lützow-Holm Bay, East Antarctica—implications for paleoenvironments. *Terra Antarctica*.
- 加藤昌子・五十嵐厚夫・Cronin, T.M., 池谷仙之 (1999): 東南極リュツォ・ホルム湾における隆起海滨堆積物中の介形虫群集. 第19回南極地学シンポジウム講演要旨. 33-23.

- 松四雄騎・若狭 幸・松崎浩之・松倉公憲 (2007) :
宇宙線生成核種 ^{10}Be および ^{26}Al のプロセス地
形学的応用. 地形, 28, 87-107.
- Miura, H., Maemoku, H., Igarashi, A. and
Moriwaki, K. (1998c): Distribution of the
raised beach deposits and marine fossils with
radiocarbon dates around the Lützow-Holm
Bay region, east Antarctica. Special Map
Series of National Institute of Polar Research,
No. 6 (with explanatory text, 46p).
- 三浦英樹・瀬戸浩二・前杢英明・岩崎正吾・五十嵐
厚夫 (2004) : ラングホブデ北部、ざくろ池湖岸
から採取された貝化石 *Zygochlamys* 属の堆積
状況とストロンチウム同位体年代.. 第24回南極
地学シンポジウム講演要旨. 47-48.
- 森脇喜一・三浦英樹 (1999) : ラングホブデざくろ
池湖畔から採取された貝化石 *Chlamys* の意
義・後期新生代の南極氷床変動史に関連して.
第19回南極地学シンポジウム講演要旨. 22-23.
- 山根雅子 (2008) : 第四紀後期の東南極縁辺部氷床
変動: リュツォ・ホルム湾沿岸の表面照射年代
による考察. 東京大学大学院理学研究科修士論
文. p.68.
- Yoshida, Y. (1983): Physiography of the Prince
Olav and Prince Harald Coasts, East
Antarctica. Memoirs of National Institute of
Polar Research, Ser. C(Earth Science), 13,
p.83.

第四紀後期の地球環境変動システムにおける 東南極氷床変動の位置づけ

三浦 英樹 (極地研)・南極第四紀環境変動研究グループ

Considerations of cause and mechanisms of EAIS fluctuations during the late Quaternary

Hideki Miura (NIPR), Antarctic Quaternary paleoenvironmental research group

1. はじめに

地球上に現存する、北半球のグリーンランド氷床、南極大陸の西南極氷床、東南極氷床の他に、約1万年より前の氷期には、北米や北ヨーロッパにも現在の南極氷床に匹敵する規模の巨大な氷床が存在し、拡大・縮小を繰り返すことによって海水準は100m以上も上下し、海洋熱塩循環や気候にも大きな影響を及ぼした。氷床はみな同じように見えても、個々の地理的条件の違いなどに応じて、異なる挙動や歴史を持つように見える。各々の氷床の挙動の違いと原因を考えるためには、現地における野外地形地質調査から各氷床の拡大・縮小過程とそのタイミングを復元してゆく以外に方法はない。

本発表では、そのようなデータが極めて少なかった東南極氷床について、リュツォ・ホルム湾周辺の調査から得られたこれまでの成果と残された課題を紹介する。次いで、大気-海洋-氷床-生物圏を含む地球システムの全体像を把握する中で、(1) グローバルな海水準変動 (特にMWP-1a) と南極氷床変動史との関係、(2) アイスコア研究から得られる古環境変動データと東南極氷床変動史との関係、に焦点を当て、如何に現時点で南極そのもののデータが少なく、地球環境変動の原因論やメカニズムのアイデアを検討する上でデータが不足しているかを示したい。

2. 最終氷期の南極氷床融氷史とその問題点

1981年にまとめられた「世界の第四紀古気候に関する研究計画: CLIMAP (Climate: Long-range Investigation, Mapping and Prediction) では、海水温などの様々な気候値の分布とともに、南極氷床を含む、約2.2万年前の最終氷期最盛期 (LGM: Last Glacial Maximum) の世界各地の氷床の分布推定図が示され、いまでも大きな影響力を持っている。ところが、この当時の南極氷床変動のデータは、ロス

海周辺のわずかなものに限られ、北半球氷床に比べて極めて乏しかった。そのため、主として西南極のロス海の限られたデータに基づいたモデルによって、南極氷床の拡大は海に進出して海底に着底できる範囲に限定されると考え、北半球氷床が発達することによる海水準の低下によって、南極氷床は大陸棚の末端まで拡大すると考えられた。この考えは南極氷床全体に適用されて、大陸棚末端の位置をほぼ連ねた線として LGM の氷床復元図が示された (Denton and Hughes, 1981)。しかし、ロス海の大陸棚と異なり、東南極周辺の大陸棚末端の深度は一般に600m程度と深く、氷期の150m程度の海水準の低下では、同じ考え方で大陸棚末端まで氷床は着底できないことは明らかである。しかし、これを覆す地形地質学的データは、1990年代まで、ほとんど得られていなかった。

3. リュツォ・ホルム湾周辺の地形地質データによる東南極氷床変動の制約条件

ラングホブデ北部のざくろ池のそばでは、氷河堆積物と年代測定可能な貝化石を含む海浜堆積物との層位関係が明らかにされた。約2万年前のLGMより古い貝化石が乱されずに原地性のかたちで存在する事実から、少なくともリュツォ・ホルム湾の宗谷海岸北部において東南極氷床は、CLIMAPモデルが示したように、LGMに大陸棚末端まで拡大することはなく、もっとも拡大した時期は、それより前の約5万年前以前であることが明らかになった。つまり、東南極氷床は、北半球氷床とは異なる挙動を示していたことになる。ラングホブデ南部より南に古い貝化石が存在しないのは、これより南の地域が4.8万年前以降まだ氷床に覆われていて、貝が生息できなかったのか、北半球と同じ約2万年前に破線付近まで氷床が拡大して、それ以前の貝化石をすべ

て侵食してしまった、という2つの可能性が考えられる。

4. 各氷床の挙動の違いとその原因：東南極氷床の挙動を決める要因は何か？

最終氷期に北半球の中～高緯度に存在した氷床は、大西洋を北上する暖流からの豊富な降雪に涵養され、北半球高緯度の日射量変動に伴う地球規模の気温の上下に敏感に応答して、比較的急速に成長と融解を繰り返した。西南極氷床は、氷床底面が海水準より下に位置するため、北半球氷床の盛衰に伴う海水準変動に敏感に応答して、氷期には前進し、間氷期には不安定になり後退する。では、南半球高緯度の陸上に位置する東南極氷床は、どういう要因で変動してきたのだろうか？

現時点での第四紀後期の東南極氷床変動史に関する考え方については、まだ統一した見解は得られていないが（例えば、Anderson et al., 2002）、我々がリュツォ・ホルム湾で集めた地形地質データに基づけば、地球規模の気温が最も低下したLGMよりも前の時代に東南極氷床は大きな拡大をしていたようである（リーセル・ラルセン山麓でも同様の結果が得られている）。もし、これが一般的な東南極氷床変動史の傾向ならば、北半球の中～高緯度氷床とは異なり、東南極氷床では、地球規模で気温がもっとも低下したLGMと氷床の最拡大時期が一致しないことになる。このように東南極氷床の挙動が他の氷床の変動史と常にずれていたならば、この氷床は地球規模の海水準や海洋熱塩循環にどのような役割を果たしてきたのだろうか。北半球主導の地球環境変動を緩和、相殺する働きがあるのだろうか？東南極氷床の質量収支に影響を与える要素として、南半球高緯度の日射量変動の他に、涵養する降雪量を決める南極海の水温・水塊構造、海水の発達状態（面積）が挙げられる。東南極氷床の面的・空間的な変動と、グローバルな海水準変動記録や、高精度・高時間分解能をもつ南極海・南大洋海底堆積物コアおよびドームふじ氷床コアから得られる古環境変動記録との間にどのような因果関係・相互関係が認められるのか、今後の研究の焦点になる。

文献

- Anderson, J.B., Shipp, S.S., Lowe, A.L., Wellner, J.S., Mosola, A.B. (2002): The Antarctic Ice Sheet during the Last Glacial Maximum and its subsequent retreat history: a review. *Quaternary Science Reviews*, 21, 49–70.
- Denton, G.H. and Hughes, T.J. (1981): *The Last Great Ice Sheets*, Wiley, New York, 484pp.

東南極セールロンダーネ山地, ブラットニーパネに産する サフィリン, コランダム, 十字石の産状と変成作用

馬場壮太郎(琉球大・教育)・豊島剛志(新潟大・理)・小山内康人(九州大・比較文化)・
中野伸彦(九州大・比較文化)・足立達朗(総研大)・外田智千(極地研)

Mode occurrence of sapphirine, corundum and staurolite in Brattnipene,

Sør Rondane Mountains, East Antarctica

Sotaro BABA (Univ. Ryukyus), Tsuyoshi TOYOSHIMA (Niigata Univ.), Yasuhito OSANAI (Kyushu Univ.), Nobuhiko NAKANO
(Kyushu Univ.), Tatsuro ADACHI (SOKENDAI), Tomokazu HOKADA (NIPR)

東南極, 中央ドロンイニングモードランド(CDML)は, 東ゴンドワナと西ゴンドワナの衝突により形成された変動帯である。Jacobs et al. (2003)はこの衝突による造山運動を East Africa - Antarctic Orogen(EAAO)と呼び, 東アフリカ, マダガスカル, 南インドに連続することを示した。この造山運動により, CDML の内陸山地域では約 560Ma に衝突, その後約 520~490Ma に造山帯の崩壊 (orogenic collapse), および多量の A-type 花崗岩類の貫入が生じた。

東ドロンイニングモードランドに位置するセールロンダーネ山地(東経 22-28 度, 南緯 71-72 度)は広大な内陸山地(東西約 250km, 南北約 100km)であり, 東西ゴンドワナの衝突により形成された変動帯の連続を知る上で重要である。セールロンダーネ山地の地質についてはベルギー隊(1958-1970 年)や日本南極地域調査隊(第 25 次隊-32 次隊:1984-1991 年)により調査が行われ, 大局的な地質分布は Antarctic Geological Map Series (Sheet 31-35)にとりまとめられている。角閃岩相上部-グラニュライト相の変成岩類およびこれらに貫入した各種深成岩類から構成される。変成岩類は北東部グループと南西部グループの二つに区分され, 前者は主にグラニュライト相変成岩類(中性片麻岩, 泥質片麻岩, 角閃岩, 石灰珪質片麻岩)から構成され, 後者は角閃岩相あるいはそれ以下の変成条件を示す変成岩類(変トナール岩, 角閃石片岩を主とし, 少量の泥質片岩, 石灰珪質岩を伴う)から構成されることが明らかになっている (Osanai et al., 1996)。

セールロンダーネ山地の変成作用については Asami et al.(1992)により総合的な解析が行われ, 初期昇温変成作用, 等温減圧の後退変成作用, 深成岩類の貫入に伴う再加熱により特徴づけられることが知られている。希少鉱物であるコランダム, サフィリン, 十字石はこれまで, 限られた地域にその分布することが報告されている(白石ほか 1997)。コランダムについてはセールロンダーネ山地東部の Balchenfjella (2 試料), サフィリンについては Austkampane (1 試料)や Balchenfjella (1 試料), 十字石については Balchenfjella (1 試料), Mefjell 南部 (1 試料)から報告されているだけである。しかしこれらの鉱物は変成作用を解明する上で有益であることから, Asami et al.(1992)は十字石の分解反応を議論し, Ishizuka et al. (1995)や Asami et al. (2007)は含サフィリン変成岩類について, それぞれ形成条件を議論した。しかし, 先述したように, これらの岩石はセールロンダー

ネ山地東部の限られた地域から見出されたものであり, 広域的な変成温度圧力条件を示しているとは考えにくい。広大なセールロンダーネ山地において, 各地域の変成作用を解明し, 比較したうえで進化発達過程を議論することが今後の課題といえる。

変成岩類の詳細な再調査を目的とし, 第 49 次日本南極地域観測隊・セールロンダーネ山地地質調査隊では, 広域のかつ集中的調査を行った。その結果, セールロンダーネ山地中央に位置するブラットニーパネ山塊に露出する変成岩類において, コランダム, サフィリン, 十字石を新たに見出したのでその特徴を紹介する。

コランダム: ザクロ石-コランダム-珪線石-スピネル片麻岩, ザクロ石-斜方輝石-黒雲母片麻岩, ザクロ石-珪線石-黒雲母片麻岩などの岩相に産する。コランダムはザクロ石-コランダム-珪線石-スピネル片麻岩中には, ザクロ石とともに斑状変晶として産するが, 一般にザクロ石の包有物としてスピネルとともに産することが多い。多くの場合, マグネタイトを包有物として有する。また, 一部に SiO_2 , TiO_2 を 1.0-1.5 wt.% 含有するもの(サファイア?)も確認された。

サフィリン: ザクロ石-黒雲母-堇青石片麻岩に産する。サフィリンはザクロ石の包有物として極微細な結晶としてスピネルに隣接して産する。

十字石: ザクロ石-珪線石-黒雲母片麻岩に産する。十字石は比較的, 角ばった形状を呈し, ザクロ石, 黒雲母, コランダムに隣接して産する。スピネルやマグネタイトを包有することが特徴である。

これらの鉱物のなかで, 十字石はその分解反応から昇温期変成作用の温度圧力経路を推定する試みがなされてきた (Osanai et al., 1991; Hiroi et al., 1994; Baba 1998)。一般にザクロ石中の包有物として産するものは, 丸みを帯びており, スピネルなどを包有することは稀である。今回新たに見出された十字石の包有鉱物, 産状はそれらと異なっており, 後退変成作用時にザクロ石, スピネル, 珪線石, コランダムなどの分解により形成した可能性が高い。

東南極リュッツオホルム岩体ルンドボークスヘッタ産石英長石質片麻岩のザクロ石斑状変晶に取り込まれた大隅石やスピネル+石英包有物から推測される変成履歴

川崎智佑 (愛媛大学大学院)・中野伸彦 (九州大学大学院)・小山内康人 (九州大学大学院)

Metamorphic $P-T$ path inferred from osumilite and spinel+quartz coexistence included within garnet porphyroblasts of quartz-feldspathic gneiss from Rundvågshetta, Lützow-Holm Complex, East Antarctica.

T. Kawasaki (Ehime Univ), N. Nakano (Kyushu Univ) and Y. Osanai (Kyushu Univ)

東南極リュッツオホルム岩体ルンドボークスヘッタグラニュライトは、累進変成作用時に藍晶石が安定な領域 (Motoyoshi and Ishikawa, 1997) を経て、サフィリン+石英の安定領域でピーク変成作用 (Yoshimura *et al.*, 2008) を被り、11 kbar, 1000 °C 付近で斜方輝石+珪線石+石英が安定な鉱物組み合わせとなり、その後、ほぼ等温的に減圧した後退変成作用により堇青石コロナやサフィリン+堇青石を含むシンプレクタイトを形成したと考えられている (Kawasaki and Motoyoshi, 2005)。

中に大隅石 ($X_{\text{Mg}}^{\text{Os}} = 0.827$) やスピネル ($X_{\text{Mg}}^{\text{Spl}} = 0.537$, $\text{Zn}/(\text{Mg}+\text{Fe}+\text{Zn})=0.39$) + 石英 + 黒雲母 ($X_{\text{Mg}}^{\text{Bt}} = 0.767$) の包有物 (Fig. 1) を見出したので報告し、この地域における変成履歴のモデルを提案する。

このグラニュライトは憂白質で粗粒であり、憂黒質の珪線石-堇青石-サフィリングラニュライト (Kawasaki *et al.*, 1993; Motoyoshi and Ishikawa, 1997; Kawasaki and Motoyoshi, 2005) の薄層を調和的に挟んでいる。斑状変晶は、ザクロ石 ($X_{\text{Mg}}^{\text{Grt}} = 0.341$)、珪線石、カリ長石、石英であり、アパタイト、イルメナイト、モナザイト、斜長石、ルチル、ジルコンを副成分鉱物として含んでいる。石英がザクロ石中の包有物の大半を占める。大隅石、黒雲母、カリ長石、斜長石、スピネル、珪線石、イルメナイト、ルチル、ジルコン、モナザイト、アパタイトが単独や、複数の組み合わせでザクロ石斑状変晶に包有されている。針状のルチルはザクロ石中の石英に見いだされ、また、カリ長石やザクロ石中にも見いだされる。自形の長柱状のルチルは石英やザクロ石やカリ長石の斑状変晶の境界やこれらの斑状変晶中にも見いだされる (Kawasaki and Osanai, 2008)。

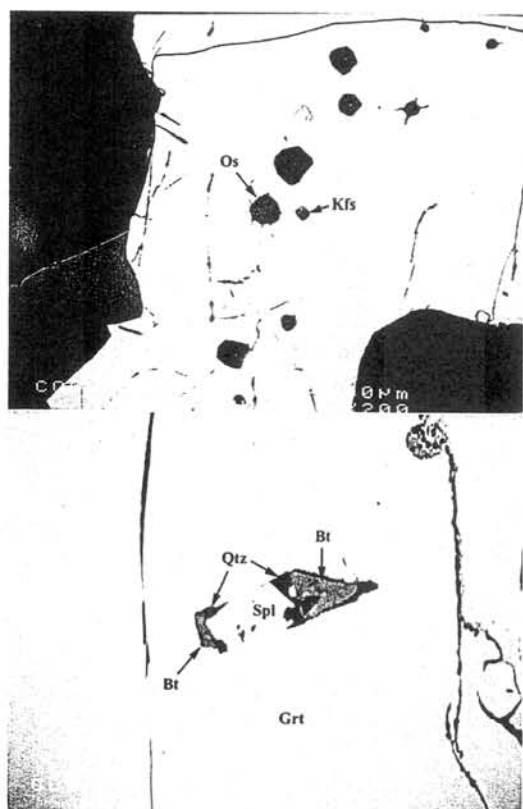


Figure 1. Back scattered electron image (BSEI) of inclusions in garnet porphyroblast of Rundvågshetta granulite, Lützow-Holm Complex, East Antarctica. Upper: osumilite inclusion; Lower: spinel+quartz assemblage.

第44次南極地域夏期観測行動により、ルンドボークスヘッタで採取したザクロ石-珪線石-石英グラニュライト (RVH02123003A) のザクロ石斑状変晶 ($X_{\text{Mg}}^{\text{Grt}} = 0.341$)

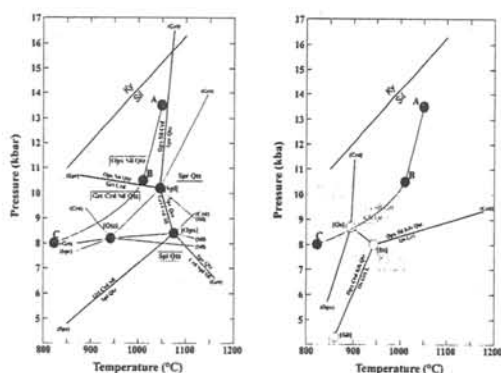


Figure 2. P/T plots of Rundvågshetta granulite and the petrogenetic grid in the FMAS system (left), and in the KF-MASH system (right) modified after Motoyoshi (1998). Points A, B and C were experimentally determined metamorphic P/T from the phase relation and Fe-Mg partitioning by Kawasaki and Motoyoshi (2005). The sillimanite-kyanite phase boundary (Holdaway, 1971) is shown in this figure.

Figure 2 に、Kawasaki and Motoyoshi (2005) がルンド

[illegible]

また、今回推定された変成履歴は、石英中の Ti 含有量 (Kawasaki and Osanai, 2008) から求められた変成温度 (925–1039 °C) や後退変成温度 (775–882 °C) や、ザクロ石中の Ti 含有量 (Kawasaki and Motoyoshi, 2007) から求められた後退変成温度 (884–921 °C) と調和的である。

Das, K., Dasgupta, S. and Miura, H. (2001) Stability of osumilite coexisting with spinel solid solution in metapelitic granulites at high oxygen fugacity. *American Mineralogist*, **86**, 1423-1434.

Kawasaki, T., Ishikawa, M. and Motoyoshi, Y. (1993)
A preliminary report on cordierite-bearing assemblages
from Rundvågshetta, Lützow-Holm Bay, East Antarc-
tica: Evidence for a decompressional $P-T$ path? Pro-
ceedings of NIPR Symposium of Antarctic Geosciences,
6, 47-56.

Kawasaki, T. and Motoyoshi, Y. (2005) Experimental constraints on the decompositional *P-T* paths of Rundvågshetta granulites, Lû. In: *Antarctica: Contributions to global earth sciences* (eds. D. K. Futterer, D. Damaske, G. Kleinschmidt, H. Miller, F. Tessensohn), Springer-Verlag, pp 23-36.

Kawasaki, T. and Motoyoshi, Y. (2007) Solubility of TiO₂ in garnet and orthopyroxene: Ti thermometer for ultrahigh-temperature granulites. In: *Antarctica: A Keystone in a Changing World* (eds. A. K. Cooper, C. R. Raymond *et al*) USGS Special Publication, 38-42.

Kawasaki, T. and Osanai, Y. (2008) Empirical thermometer of TiO_2 in quartz for ultrahigh-temperature granulites of East Antarctica. In: *Geodynamic Evolution of East Antarctica: a Key to the East-West Gondwana Connection* (eds. M. Satish-Kumar, Y. Motoyoshi, Y. Osanai, Y. Hiroi and K. Shiraishi), Geological Society of London, Special Publications, **308** (in press)

Motoyoshi, Y. (1998) Ultrahigh temperature metamorphism of Napier Complex, East Antarctica (in Japanese with English Abstract). *Journal of Geological Society of Japan*, **104**, 794-807.

Motoyoshi, Y. and Ishikawa, M. (1997) Metamorphic and structural evolution of granulites from Rundvågshetta, Lützow-Holm Bay, East Antarctica. In: *The Antarctic Region: Geological Evolution and Processes* (ed. C. A. Ricci), Terra Antarctica Publication, Siena, pp 65-72.

Sajeev, K. and Osanai, Y. (2004) Osumilite and spinel + quartz from Sri Lanka: Implications for UHT conditions and retrograde *P-T* path. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **99**, 320-327.

Yoshimura, Y., Motoyoshi, Y. and Miyamoto, T.
(2008) Finding of sapphirine + quartz association in
the sapphirine-bearing garnet-orthopyroxene-sillimanite
granulite from Rundvågshetta in the Lützow-Holm
Complex, East Antarctica: Implication for ultrahigh-
temperature metamorphism. In: *Geodynamic Evolution
of East Antarctica: a Key to the East-West Gondwana
Connection* (eds. M. Satish-Kumar, Y. Motoyoshi, Y.
Osanai, Y. Hiroi and K. Shiraishi), Geological Society
of London, Special Publications, **308** (in press)

東南極、リュツォ・ホルム岩体のグラニュライト相ラングホブデ地域から見出されたマグマティック紅柱石

廣井美邦（千葉大・理）、本吉洋一、外田智千、白石和行（極地研）

Magmatic andalusite found in the granulite-facies Langhovde area of the Lützow-Holm Complex, East Antarctica

Yoshikuni HIROI (Chiba Univ.), Yoichi MOTOYOSHI, Tomokazu HOKADA & Kazuyuki SHIRAISHI (NIPR)

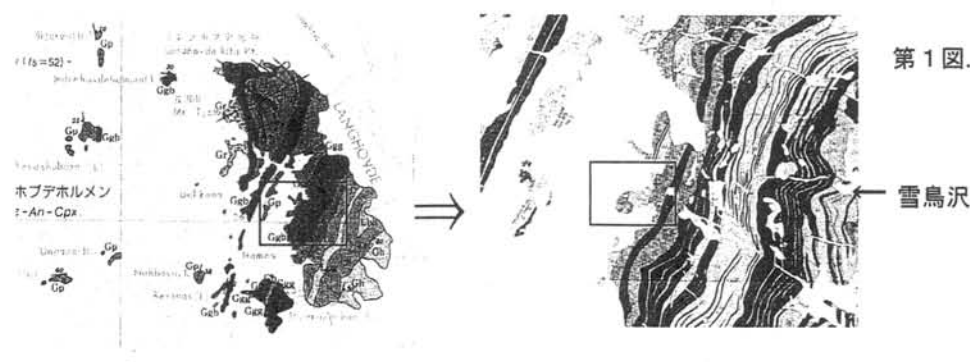
南極、昭和基地周辺地域には原生代最末期～古生代初期の高度広域変成岩より成るリュツォ・ホルム岩体が分布している。リュツォ・ホルム岩体では、東部のプリンス・オラフ海岸から南西部のリュツォ・ホルム湾奥部に向けて角閃岩相高温部からグラニュライト相高温部（超高温変成条件）に至る累進変成作用が見られるが、変成ピーク（最高温度）時には、どこでも珪線石が安定な Al_2SiO_5 鉱物であった。また昇温時に形成された残晶状の藍晶石が、変成度にかかわらず、岩体のあちこちから見出されており、それがこの岩体の大きな特徴の一つとなっている。さらに、降温時に形成された後退的な紅柱石が、角閃岩相からグラニュライト相低温部に相当するプリンス・オラフ海岸のいくつかの露岩（たとえば竜宮岬、だるま岩、天文台岩、明るい岬）で見出されている。ここで報告する紅柱石は、リュツォ・ホルム湾岸のラングホブデ地域の砂泥質片麻岩に不調和的に貫入した花崗岩質ペグマタイト中に産出するものであり（第1～3図参照）、マグマ起源と考えられる。

紅柱石含有ペグマタイトは主として石英、斜長石、アルカリ長石よりなる優白質岩で、数センチメートル大に達するザクロ石と石英のシンプレクタイトを含む。斜長石とアルカリ長石も石英と連

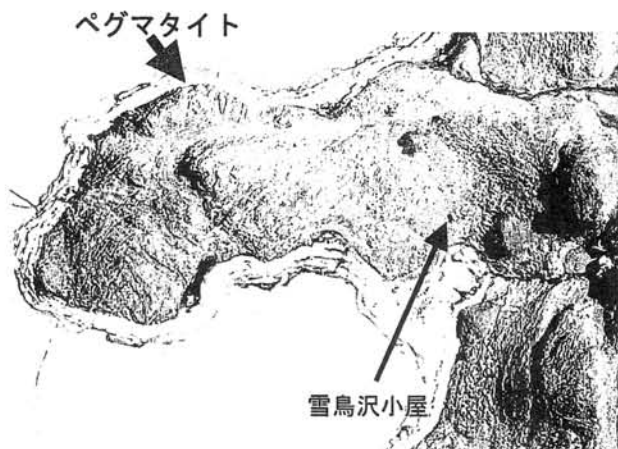
晶 (graphic intergrowth) していることが多い（第4図上段2枚の顕微鏡写真参照）。このほかに少量の紅柱石と黒雲母（および後退的な白雲母）が含まれるが、紅柱石はアルカリ長石中出现すること多い（第4図の左側の顕微鏡写真参照）。ただし、紅柱石とアルカリ長石の間にはしばしば石英の薄層が介在している。またごくまれではあるが、スピネルがピナイト（もと重晶石？）に包まれて石英中出现する（第4図の下段の顕微鏡写真参照）。

ペグマタイトに貫入された砂泥質片麻岩では珪線石や紅柱石の産出はまだ確認されていないが、まれに藍晶石が出現することは注目に値する。

高温・高圧実験の結果によると、紅柱石の安定領域はハプロ花崗岩質メルトのソリダスよりも低温・低圧にあり、両者が平衡共存することはないとされるが、天然の火成紅柱石の報告はある。それは、 Fe^{3+} などによる紅柱石の安定領域の拡大と Al_2SiO_5 鉱物等がハプロ花崗岩に加わることによる融点降下によるものと考えられる。火成紅柱石の産出は著しい低圧条件を示唆するが（第5図）、従来、リュツォ・ホルム岩体グラニュライトにそのような高温で低圧の条件は推定されていない。現在、より厳密な $P-T-t$ 経路の解析と新しいテクトニック・モデルの構築中である。



第1図. ラングホブデ地域の地質図

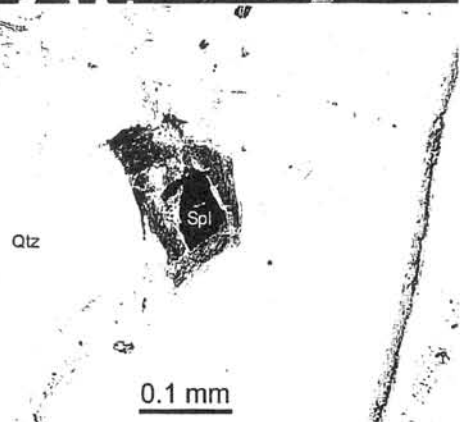
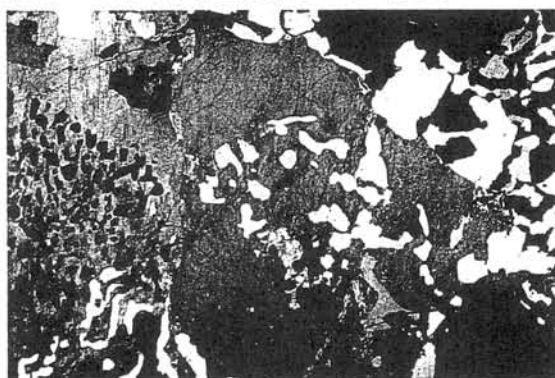
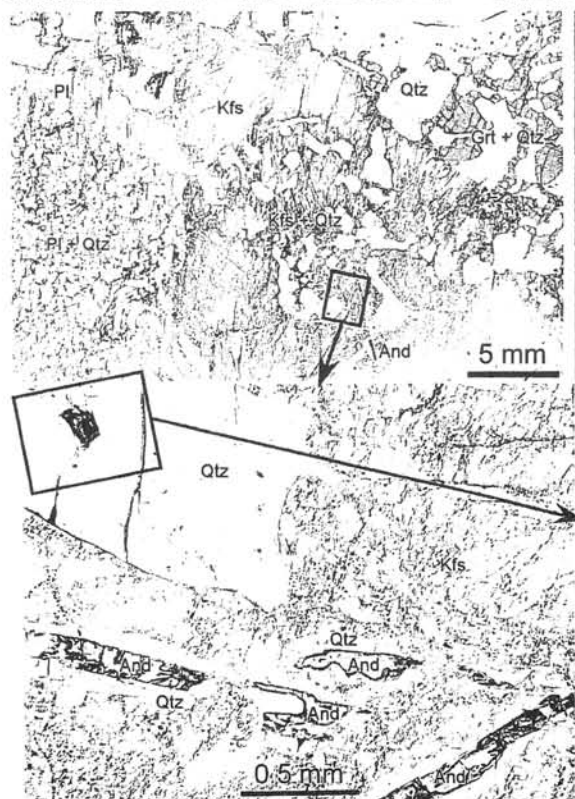


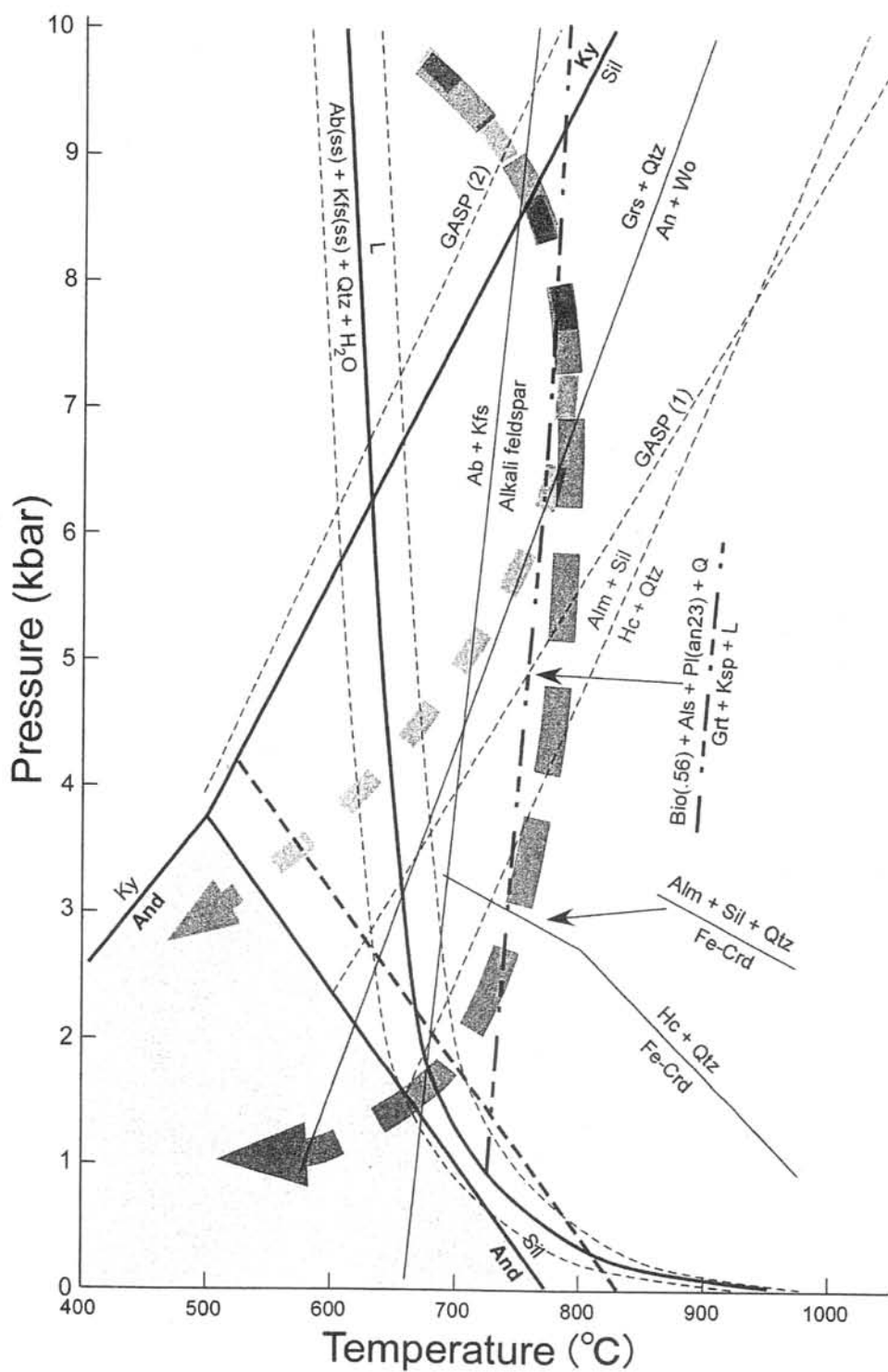
第2図. 雪鳥沢小屋付近の航空写真。問題の紅柱石含有優白質ペグマタイトもよく見える。雪鳥沢小屋の南東側にある斜面では、砂泥質片麻岩の「局所的チャルノツカイト化 (Arrested charnockitization あるいは Charnockite in the making) 現象」が観察される。



第3図. 紅柱石含有優白質ペグマタイトの産状。ペグマタイトに接した部分の被貫入岩(砂泥質片麻岩)に黒雲母が目立つことに注目。

↓第4図. 紅柱石 (And) 含有ペグマタイトの顕微鏡写真。ザクロ石 (Grt)、斜長石 (Pl)、アルカリ長石 (Kfs) のいずれもが石英 (Qtz) と連晶していることに注目。石英中に、ピナイト (もと董青石?) に包まれたスピネルが出現することがある。





第5図. ラングホブデ地域のグラニュライトに対して推定される P - T - t 経路。火成紅柱石の産出から、従来のもの（高压側の降温経路）に比べて、等温減圧過程が強調されたものになった。これによって、ラングホブデ地域等で見られる砂泥質片麻岩の「局所的チャルノツカイト化現象」（部分融解現象？）も説明できるかもしれない。

コンダライト - チャルノッকাイト境界に産出するザクロ石の組成勾配：リュツォ・ホルム岩体，スカレヴィックハルセン

加藤睦実・廣井美邦（千葉大院・理）・外田智千（極地研）

Compositional gradient of garnet in Khondalite - "Charnockite" boundary from the Lützow-Holm Complex at Skallevikshalsen, East Antarctica.

Mutsumi Kato, Yoshikuni Hiroi (Chiba Univ.), Tomokazu Hokada (NIPR)

東南極のスカレヴィックハルセンには、コンダライトと呼ばれる泥質グラニュライトが、ドロマイト質大理石や珪岩と互層して産出する。JARE46 による現地調査で、以下の事実が明らかにされた。

(a)コンダライト層とドロマイト質大理石層の境界部には、単斜輝石と斜長石に富む「スカルン」が発達しているが(Yoshida et al., 1976, Matsueda et al., 1983)、それがコンダライト層に貫入した岩脈状になっていることがある(図1)。

(b)コンダライトと岩脈状スカルンの境界部に、斜方輝石が産出する、つまり、チャルノッকাイトが形成されている。

コンダライト - チャルノッকাイト - 岩脈状スカルン境界の連続的な薄片観察をおこなったところ、次の(1)から(4)へと、鉱物組合せが漸移的に変化するのを見出された(表1)。

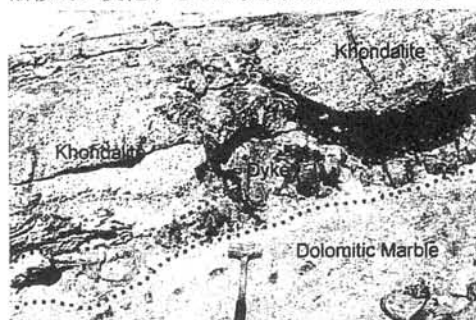


図1. コンダライトとドロマイト質大理石の境界部に発達するスカルン。写真中央部では、スカルンがコンダライト層中に貫入している。

表1. コンダライト - チャルノッকাイト - スカルンの鉱物組合せの変化

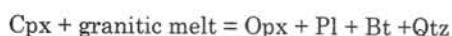
(1)コンダライト	Grt+Sil+Afs+Qtz
(2) スピネルに富むコンダライト	Grt+Spl+Pl+Kfs +Afs+Qtz+Bt±Sil
(3)チャルノッকাイト	Opx+Pl+Bt±Grt ±Kfs±Qtz
(4)スカルン	Cpx+Pl±Opx ±Scp±Qtz

(1)コンダライト：主に珪線石+ザクロ石+アルカリ長石+石英+ルチル+イルメナイト+石墨からなる。マトリックスには含水鉱物が出現せず、昇温期に脱水反応が進んで含水鉱物が消費され尽くしたことを示唆する。また、石英とアルカリ長石が共存しているため、もし水が存在すればコンダライトは比較的低温で部分融解する。

(2)スピネルに富むコンダライト：スカルンの貫入に伴って、コンダライト中の珪線石とザクロ石が、スピネル+長石のシンプレクタイトによって置換されている（以下でスピネル化と呼ぶ）。ただし、一部のザクロ石は虫食い状のスピネルを包有している。鏡下での各鉱物の産状から、このような岩石中では、外部からの流体の流入によって部分融解反応が進行したと推定されている（廣井ほか、2005）。この場合は、岩脈状のスカルンから流体が供給された可能性が高い。

(3)チャルノッカイト：主に斜方輝石+斜長石+黒雲母+カリ長石+石英からなるが、(2)との境界部では、ザクロ石と斜方輝石が共存している。スピネルや珪線石などのアルミナスな鉱物は出現しない。

(4)スカルン：主に単斜輝石+斜長石+柱石からなり、メタアルミナスな組成をもつと考えられる。一部の単斜輝石は、斜方輝石によって置換されており、次の反応が進んだことが示唆される。



以上のように、(1)から(4)に向かって、著しくパーアルミナスなコンダライトが、チャルノッカイト、メタアルミナスなスカルンへと、岩石の総化学組成が漸移的に変化する。

また、(2)では、スカルンの貫入に伴って珪線石とザクロ石が、スピネル+長石のシンプレクタイトに置換されている。しかし、コンダライト-チャルノッカイト境界では一部のザクロ石が虫食い状のスピネルを包有しており、逆反応によってザクロ石が再成長しているように見える。このようなザクロ石の化学組成は、もとのザクロ石の化学組成と異なる可能性が高い。そこで、スピネルを包有したザクロ石の元素マッピングをおこなった。その結果、コンダライト側からチャルノッカイト側に向かって、ザクロ石中の Ca, Mn 成分が増加し、Fe, Mg 成分が減少する組成勾配が見出された。また、ザクロ石に接した斜長石も同様に、チャルノッカイト側で Ca 成分に富み、コンダライト側で Ca 成分に乏しくなる。このような、ザクロ石と斜長石中に見られる組成勾配は、コンダライトからチャルノッカイトへの総化学組成の変化に対応している。これは、一度スピネル化した

ザクロ石が再成長したとき、コンダライト-チャルノッカイト境界に組成勾配が存在したことを反映しているものと考えられる。

コンダライトとスカルンの境界部に発達する上記の組成勾配は、コンダライトの部分融解によって形成されたパーアルミナスなメルトとスカルンとの反応によって形成されたと考えられる。

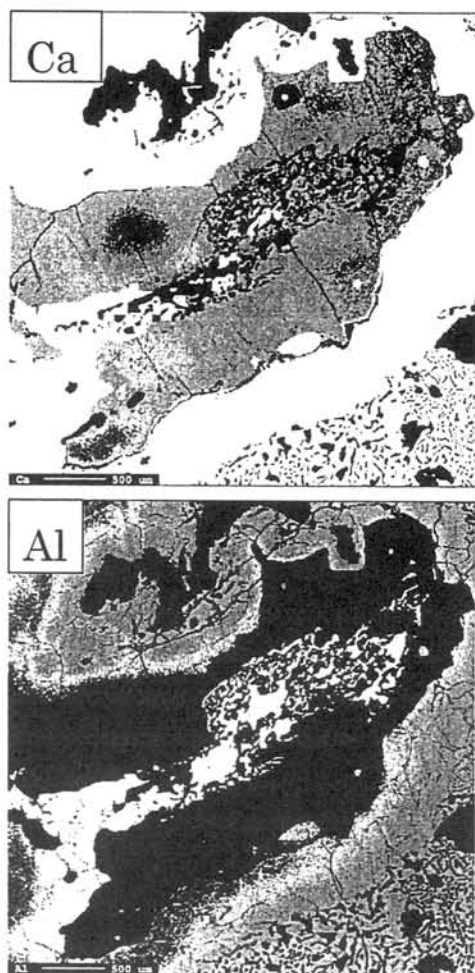


図2. スピネルを包有したザクロ石の元素マップ図 (Ca, Al)。写真左下がチャルノッカイト側、右上がコンダライト側になる。ザクロ石 (上図) と斜長石 (下図) 中に、Ca 成分の勾配が形成されている。

Fluid-rock interaction at the calc-silicate rock - pyroxene gneiss interface at Skallevikshalsen, Lützow Holm Bay, East Antarctica

M. Satish-Kumar, (Shizuoka University); Y. Motoyoshi, (NIPR);

Y. Hiroi (Chiba University)

Lithological contacts are subtle areas in crustal regimes, where fluids and melts can penetrate and move, and cause extensive alterations in the chemical composition of the surrounding rocks and create physically weak zones. The presence of fluids and melts can enhance mobility of elements, cause extensive alteration of minerals and under favorable circumstances form new minerals. In this presentation, we report microstructures representative of fluid enhanced metasomatism and precipitation of graphite along the contact between a lens of calc-silicate rock enclosed in pyroxene gneiss at Skallevikshalsen, Lützow Holm Complex, East Antarctica.

The basement rocks of Skallevikshalsen are predominated by granulite facies metamorphic rocks. Orthopyroxene felsic gneiss is the most predominant rock type in this outcrop. Other rock units occur as layers, which include a variety of pelitic gneisses such as garnet-sillimanite gneiss, garnet-spinel-sillimanite gneiss and garnet-biotite gneiss. Two prominent marble layers and several thin mafic gneisses are also found in this locality. Earlier studies on the metamorphic evolution of this locality suggested a peak metamorphic P - T condition of around 850°C and 0.6-1.1 GPa (Yoshimura *et al.*, 2004; Mizuochi *et al.*, 2006). Presence of kyanite and staurolite inclusions in garnet and formation of retrograde cordierite-bearing assemblages in this region is indicative of a clockwise P - T evolution with a prominent decompression during retrograde metamorphism (Hiroi *et al.*, 1991; Yoshimura *et al.*, 2004).

Here we present new petrologic data on rock samples collected along a contact between a thin lens of calc-silicate rock and pyroxene gneiss. The calc-silicate lens is about 2 m thick, 10 m long and has tapering ends. The margins and intermediate portions of the lens comprises of calc-silicate minerals such as grossular, wollastonite, scapolite and diopside, whereas the inner core of the lens is mostly of calcite. This zonal structure of the calc-silicate lens suggests that the calc-silicate minerals were formed by decarbonation reactions that occurred during the interaction of calcite-rich marble with the

surrounding pyroxene gneiss during the regional granulite facies metamorphism.

The contact zone of the calc-silicate lens with the pyroxene gneiss is marked by the occurrence of a centimeter thick graphite-rich domain. A felsic domain of about 3 to 5 cm thickness is observed toward the pyroxene gneiss. Nearer to the graphite-rich zone, polygonal grains of scapolite, diopside and titanite are observed. Few millimeters away from graphite, spectacular microstructures are observed. The most prominent one is the partial or complete replacement of plagioclase by a symplectite intergrowth of scapolite and K-feldspar. Scapolite is meionitic in composition ($\text{EqAn} \sim 58$) and contains only 0.5 wt.% of K_2O , whereas K-feldspar contain minor amounts of Na_2O ($\text{Or}_{85}\text{Ab}_{15}$). Minor amounts of graphite, diopside and titanite are also observed. Quartz and calcite are absent in this zone.

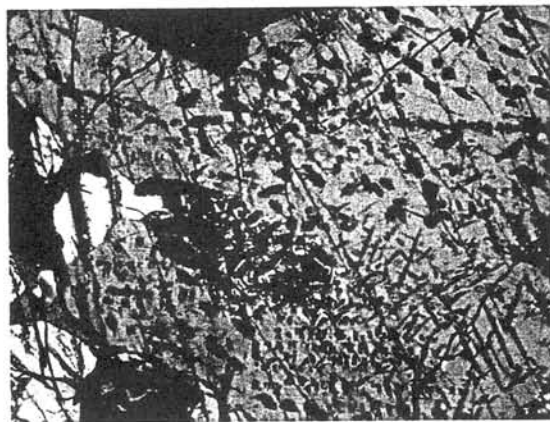


Fig. 1. Initiation of scapolite-K-feldspar symplectite formation by K-metasomatism under high CO_2 fluid activity (field of view ~ 4 mm across; crossed polars).

Progressive development of scapolite-K-feldspar symplectite can be observed at different stages in a single thin section in this domain (Figs. 1, 2 & 3). It is evident from figure 1 that the symplectite develop at the expense of plagioclase ($\text{Ab}_{62}\text{An}_{36}\text{Or}_2$). However, the product phases have a reintegrated composition of $\sim\text{Ab}_{30}\text{An}_{30}\text{Or}_{40}$. In addition, CO_2 is also incorporated in scapolite. This suggests that

potassium and CO₂ has moved in to the system from outside. Either a melt or a fluid enriched in potassium and CO₂ should have infiltrated this domain in order to form the symplectite.

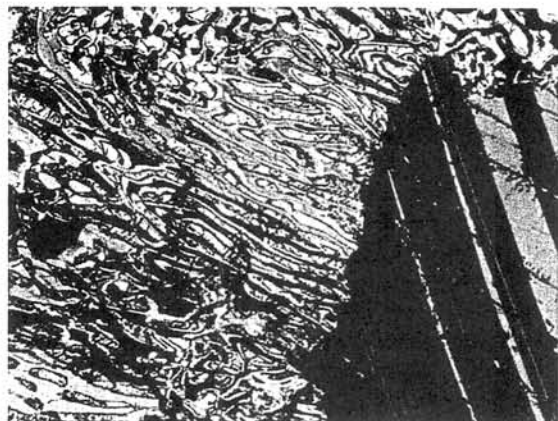


Fig. 2. Direct evidence of formation of scapolite-K-feldspar symplectite from pre-existing plagioclase feldspar (field of view is ~ 4 mm across; crossed polars).

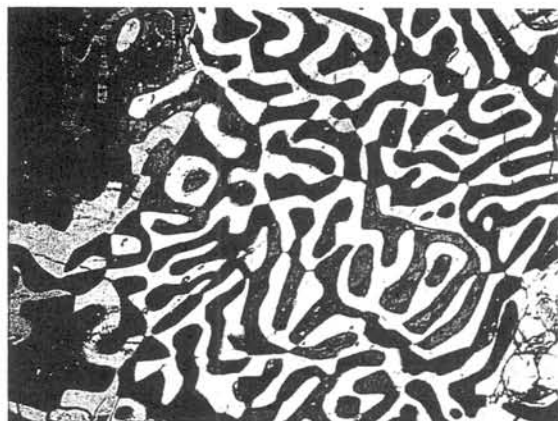


Fig. 3. Fluid induced scapolite-K-feldspar symplectite formation (field of view is ~ 4 mm across; crossed polars).

Plagioclase contains two generations of K-feldspar lamellae. The first generation is considered to be exsolved from the original plagioclase grain to form antiperthite microstructure. The second generation is formed by metasomatic alteration along cleavage plains and fractures (Fig. 1), but did not crossover the threshold to initiate symplectite formation. When fully developed, scapolite-K-feldspar symplectite has a perfect 1:1 volume ratio between the two minerals with clear grain boundaries and wormy shape (Fig. 3).

We envisage the formation process of symplectite as a perfect example of fluid assisted metasomatism along the contact zone between calc-silicate lens and orthopyroxene felsic gneiss. Pooling of CO₂ at the contact resulted in the formation of scapolite. The CO₂-rich fluid was also instrumental in precipitating the graphite-rich layer along the contact zone. This conclusion is in agreement with the CO₂-rich fluid infiltration, suggested by Satish-Kumar *et al.* (2006), in to Cl-rich scapolite boudins in the neighboring Skallen locality, in the Lützow Holm Complex. Preliminary carbon and oxygen isotope results of calcite ($\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}} = -1.2\text{‰}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} = 19.3\text{‰}$) in contact with graphite toward the calc-silicate domain indicates that the fluid was locally derived, most probably from the decarbonation of the calcite during the formation of calc-silicate minerals.

Detailed mineralogical and carbon and oxygen stable isotopic studies are in progress to understand the mechanism and formation of scapolite-K-feldspar symplectite and the precipitation of graphite in the contact zone at Skallevikshalsen.

References

- Hiroi, Y. *et al.* 1991. Late Proterozoic paired metamorphic complexes in East Antarctica, with special reference to the tectonic significance of ultramafic rocks. In: Thomson, M. R. A., Crame, J. A. & Thomson, J. W. (eds) *Geological Evolution of Antarctica*, Cambridge University Press, 83-87.
- Mizuochi, H. *et al.* 2006. Constraints on peak metamorphic temperature and halogen content from marbles in Skallevikshalsen, East Antarctica. *Proceedings of the 26th Symposium on Polar Geosciences*, NIPR, Tokyo, 13-15.
- Satish-Kumar, M. *et al.* 2006. Carbonation of Cl-rich scapolite boudins in Skallen, East Antarctica: evidence for changing fluid condition in the continental crust. *Journal of Metamorphic Geology*, **24**, 241-261.
- Yoshimura, Y. *et al.* 2004. High-grade metamorphic rocks from Skallevikshalsen in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: Metamorphic conditions and possibility of partial melting. *Polar Geoscience*, **17**, 57-88.

南極と北極地域の地震波トモグラフィーとマントル構造
Seismic tomography and mantle structure of the polar regions

#趙大鵬・山本芳裕 (東北大学大学院理学研究科)

金尾政紀 (国立極地研究所地圏研究グループ)

山田朗 (愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター)

In our previous model of P-wave global tomography (Zhao, 2004), the 3-D mantle structure under the polar regions was not determined well because the grid nodes were set up along the latitude and longitude lines and so the grid interval in the east-west direction becomes too small in the polar regions. In order to resolve this problem, recently we used a flexible-grid approach to conduct global tomographic inversions. We used the method of Zhao (2001, 2004). A 3-D grid net was set up in the mantle, and velocity perturbations at every grid nodes were taken as unknown parameters. The iasp91 velocity model (Kennett and Engdahl, 1991) was taken as the 1-D starting model for the tomographic inversion. We selected 9106 earthquakes from the events that occurred in the last forty years from the ISC (International Seismological Center) data set. About 1.6 million arrival-time data of five-type P phases (P, pP, PP, PcP, and Pdiff) were used to conduct the tomographic inversion. In our flexible-grid approach, the lateral grid intervals in the polar regions are arranged nearly the same as the other portions of the mantle. As a result, the tomographic images in the polar regions are remarkably improved. Our new tomographic model shows huge low-velocity (low-V) zones in the entire mantle under Tahiti and Lake Victoria, which reflect the Pacific and African superplumes, being consistent with the previous studies. A clear low-V zone is revealed down to the mid-mantle depth under Mt. Erebus volcano in Antarctica. Other major hotspots also exhibit significant low-V zones in the mantle under their surface locations. Beneath Bering Sea, we found that the Pacific slab is subducting from the Aleutian Trench and it is stagnant in the mantle transition zone. In Bering Sea and the Alaska region, there are several intraplate volcanoes such as St. Paul Island. Given the existence of the stagnant Pacific slab and very low-V mantle wedge above the slab, we consider that the origin of the intraplate volcanoes in Bering Sea is most likely related to the deep subduction of the Pacific slab and its stagnancy in the mantle transition zone, similar to the Changbai and Wudalianchi volcanoes in Northeast Asia (Zhao, 2004).

References

- Zhao, D. (2001) Seismic structure and origin of hotspots and mantle plumes. *Earth Planet. Sci. Lett.* 192, 251-265.
- Zhao, D. (2004) Global tomographic images of mantle plumes and subducting slabs: insight into deep Earth dynamics. *Phys. Earth Planet. Inter.* 146, 3-34.

MANTLE STRUCTURE & TECTONIC EVOLUTION AROUND THE LUTZOW-HOLM BAY REGION, EAST ANTARCTICA, DERIVED FROM ACTIVE AND PASSIVE SESIMIC STUDIES -AN OVERVIEW-

Masaki Kanao

National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems

In these one decade, multidisciplinary crust – upper mantle studies by active and passive sources were conducted at the Pan-African terrain of the Lutzow-Holm Complex (LHC), East Antarctica. Deep Seismic Surveys (DSS) carried out on the continental ice-sheet of the LHC in 2000 and 2002 revealed significant images of seismic reflections of the crust-mantle boundary, together with several inner crustal reflections. Detailed processing based on NMO corrections and CDP stacking, the DSS data extracted clearer images of reflections of the crust-mantle boundary, together with several crustal reflections. A layered structure at the crust-mantle boundary was clarified by coherency enhancement processing after NMO correction to very far offset data. Crustal structure of the LHC imaged by seismic reflections suggests the tectonic influence of compression stress in a NE-SW orientation during the Pan-African, during the last stage of formation of broad mobile belt between East and West Gondwana super-terrains.

On the contrary, by analyzing the teleseismic data recorded by broadband seismographs deployed on this area, another detailed information can be achieved concerning tectonics and structure in the depth ranges from lithosphere to asthenosphere, together with heterogeneous characteristics of the deep interior of the Earth. Moreover, glacial related seismic signals have been detected by the local seismic arrays; which give rise to unique information in relation to the local impact of global climate changes on East Antarctica. The recorded waveform data have enough quality for the uses of various analyses in order to clarify the heterogeneous structure and dynamics of Antarctica. The conventional passive seismic source studies such as receiver functions

and shear wave splitting, surface wave tomography have been carried out for the outcrop stations along the Coast region. For example, the shear velocity models resulting by short period receiver function inversion indicate the gradual complex structure from the north to the south along the coast in LHB, toward the Shirase Glacier, in depth ranges of the crust and the uppermost mantle (Kanao et al., 2002). Lower crustal – upper mantle reflectivity were simulated compared with observed receiver functions in LHC; the origins of LCR are estimated by comparing the metamorphic rock velocities by high pressure experiments (Kanao and Ishikawa, 2006).

Depth variations of the upper mantle discontinuities (410 and 660 km) in the LHB region were derived from long period receiver function analysis recorded at local broadband arrays (JARE-GARNET). Strong depth variations are identified particular for the 660 km discontinuity. Shallow depths in topography of the 660 km discontinuity are found beneath the continental ice sheet SE apart from the Arrays, which might reflect the paleo upwelling of the mantle plume associated with super-continent break-up. Mantle anisotropy derived by SKS splitting analysis in this area (Usui et al., 2007) anticipate the relationship between ‘fossil’ anisotropy and the past tectonics involving break-up and amalgamation of the Gondwana. Since the fast polarization directions are mainly NE-SW direction in the LHB; which is consistent with paleo compression stress during Pan-African age. We consider that the origin of mantle anisotropy originated chiefly by lattice preferred orientation produced involving the Gondwana assembly, rather than present asthenospheric flow parallel with the Absolute Plate Motion.

リュツオ・ホルム湾地域及びスリランカ下の上部マントル異方性について

日井 佑介(愛媛大), 金尾 政紀(極地研), 久保 篤規(高知大)

Upper mantle anisotropy beneath Lützow-Holm Bay, East Antarctica and Sri Lanka

Yusuke USUI (Ehime Univ.), Masaki KANAOKA (NIPR), Atsuki KUBO (Kochi Univ.)

はじめに

地球の上部マントルには、2-5%の強い異方性があることが知られている。上部マントル異方性の研究は、主に遠地震のS波スプリットング解析を用いて世界中で広く研究されている。異方性を解析することは、地球内部の応力・歪の場を知ることができるので、マントル対流などの地球のダイナミクスを知る上で非常に重要である。南極大陸については、主な定常観測点について解析が行われており、特に近年、東南極を中心に野外臨時観測が行われ、過去のテクトニック史に関連した異方性の空間的広がりが徐々に明らかになってきた。

本研究では、東南極のリュツオ・ホルム湾地域(以下、LHB)に焦点を当てた。LHBは約5.5億年前に変成作用を受けたリュツオ・ホルム岩体が分布しており、パンアフリカン造山帯の一部であると考えられている。ゴンドワナ大陸を復元すると、この岩体はスリランカ・インド南端・マダガスカル・東アフリカ・アラビアに続く東西ゴンドワナ大陸が衝突合体した縫合帯として分布しており、地球史の視点からゴンドワナ超大陸形成及び分裂のダイナミクスを知る上で注目されている領域である。

本研究では昭和基地(SYO)及び沿岸地域(AKR, LNG, PAD, RND, S16, SKL, SKV, STR, TOT)における地震観測点と、スリランカ(PALK)のデータを用いて解析を行った(図)。解析領域がLHB全域をカバーでき、さらに他の観測点との比較から東南極における異方性の形成原因を探ることがねらいである。異方性の解析によって、現在または過去のマントルの流動を調べることができると考えられるので、南極プレート運動や大陸の離散集合の変遷史を知る手がかりとして貢献できると考えられる。

データ及び解析手法

本研究では、昭和基地及び宗谷海岸の地震観測点10点と、スリランカのPALKで記録された地震波形を用いた。本研究では、先行研究による結果とここ3年間の最新のデータを組み合わせた。用いた地震は、1999年~2008年に起こったマグニチュード5.5以上の地震から、S/N比の良い地震を選別した。震源パラメータは、ハーバード大のCMT解を用いた。解析前に、観測機器特性をデコンボリューションし、ノイズ除去のため0.02Hz~0.2Hzのband-pass filterを適用した。その後、コアフェイズであるSKS, SKKS, pSKS波におけるS波スプリットング解析を行った。

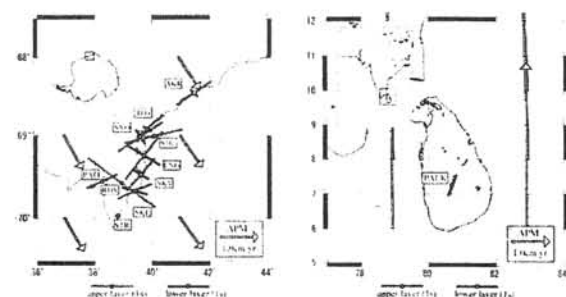
本研究ではまず、単層の異方性構造を仮定したスプリットングパラメータ(ϕ , δt)を、Silver and Chan

(1991)の方法を用いて求めた。 ϕ (早い振動方向)は $0^\circ \sim 360^\circ$ を 1° 間隔で、 δt (時間差)は0~2秒を0.1秒間隔で解析した。それぞれのパラメータの誤差はF検定を適用し、95%の信頼区間から見積もった。スプリットングパラメータの方位変化が存在していることが分かり、それらの観測点については、2層構造モデリングを行った(Silver and Savage, 1994)。地球力学的観点から、2層はリソスフェアとアセノスフェアに相当する。

結果と考察

一般に、得られたスプリットングパラメータ(ϕ , δt)は、プレート絶対運動(APM)の方向と比較される。本研究では、アセノスフェアに相当する下部層の ϕ は、APMの方向にほぼ平行であることがわかった。異方性は、現在のアセノスフェアのマントルの流れによって、オリビンの選択配向による可能性が高い。 δt は0.2s-0.6sであり、比較的小さいことから、異方性は東南極のゆっくりとした流れによって結晶が選択配向され形成されたものと考えられる。

上部層の δt は0.7s-1.3sと下部層よりやや大きく、 ϕ はAPMの方向と最大で 100° ずれていることが分かった。過去のテクトニックなイベントを考慮すると、異方性の速い振動方向が、5-6億年前のパンアフリカン造山運動による超大陸の衝突方向とほぼ一致する。また、超大陸分裂の際に、リフトと平行方向に異方性が形成されることがモデリングによって分かっており、分裂時における影響も示唆される。スリランカについては、下部層についてはAPMの方向とほぼ一致していることが分かった。上部層については、過去に遡って超大陸を復元すると、LHBからスリランカまで ϕ の方向が連続的に繋がっているように見えることから、過去の超大陸衝突時において異方性が形成された可能性が高いことが考えられる。今後は、レシーバー関数を用いたスプリットング解析も行い、より浅い地殻の異方性についても明らかにしたい。



みずほ高原の二次元比抵抗構造モデル

坂中伸也 (秋田大)、船木實 (極地研)、佐藤高晴 (広島大)、山崎哲秀 (アバンナット)、
三宅八朗 (㈱関電工)、江川晋子 (日本水路協会)、上村剛史 (海城高等学校)

Two-dimensional resistivity structure at Mizuho Plateau, East Antarctica

Shin'ya Sakanaka (Akita Univ.), Minoru Funaki (NIPR), Takaharu Sato (Hiroshima Univ.),

Tetsuhide Yamasaki (AVANGNAQ), Hachiro Miyake (Kandenko Company, Limited),

Kuniko Egawa (Japan Hydrographic Association),

and Takeshi Uemura (Kaijo Junior- and High-School, Tokyo, Japan)

第 46 次日本南極地域観測隊に参加し、エンダービーランドのみずほ高原において地下深部まで探査可能な MT 法 (Magneto-Tellurics) と呼ばれる電磁探査による地下構造探査を行った。越冬中に 3 週間の内陸旅行をおこない、計 16 観測点で地磁気と地電流の時系列データを取得した。北西-南東方向のみずほルート測線と北東-南西方向の HM ルート測線沿いに観測点を並べた。みずほルート沿いではとつつき岬から Z24 までは観測測線であり、ルート沿いの距離は約 200km である。

データクオリティが悪いことにより、サウンディングカーブが定まらない観測点が多く存在する。クオリティが悪い理由として、低い地吹雪により電荷をもった粉雪が舞う影響も考えられた。この場合、磁場データに著しいノイズが入ると考えられるが、時系列データを見ると、電場データのクオリティがより悪いことから、地吹雪のデータクオリティに対する影響は低いものと考えられる。

電場を測定するために 60cm×60cm のチタン板を雪の中に埋設して電極とし、チタン板と収録器をつなぐケーブルの間にプリアンプを用いた。プリアンプを使用している関係で、電極間の接地抵抗を測定するのが困難であったため、一部の観測点のみで接地抵抗 (電極間の電位) を測定した。データクオリティの比較的良好な観測点においても、接地抵

抗は $1\text{M}\Omega$ を越える値となった。いくつかの点で電場のデータクオリティを悪くしている原因は、この接地抵抗が良好なデータが取得できる限界を超えることである可能性が高い。この地域で越冬期間中の低温下で将来 MT 法による電場を測定する場合、電極の接地面積を稼ぐなどの工夫が必要であろう。

データクオリティのよい観測点の見掛け比抵抗曲線 (サウンディングカーブ) を描くと、高周波数部分の見掛け比抵抗が $10\text{万}\Omega\text{m}$ にも及ぶ。これは高比抵抗である南極大陸の氷床を示すものである。また、高周波側の端である数百 Hz の周波数帯では見掛け比抵抗が電磁場の周期が大きくなるにつれ急激に上昇するが、これは接地抵抗があまりにも大きいためであり、実際の地下 (雪面下) の比抵抗を反映しているものではない。

みずほルートと HM ルートの交差する点が H176 であるが、この付近は過去の日本の南極観測で行われた地震探査やアイスレーダー探査によると氷床と基盤の境界付近の構造が周囲とやや異なることが示されている。MT 法による比抵抗構造探査においては、その付近の比抵抗が周囲と比べてやや大きいという結果となっている。

これまではデータクオリティのよい観測点における 1 次元構造を示して議論したが、今回は 2 次元構造をその信頼性についても吟味しながら示す。

南極リュツオ・ホルム湾沖の海底下比抵抗構造

松野哲男, 野木義史 (極地研) 北田数也, 島伸和, 岡田浩一 (神戸大学)

Electrical resistivity structure beneath seafloor off Lützow-Holm Bay, Antarctica

Tetsuo MATSUNO, Yoshifumi NOGI (NIPR), Kazuya KITADA, Nobukazu SEAMA, Koichi OKADA (Kobe University)

超大陸の分裂・集合過程は、プレートテクニクスの原動力とマントルプリュームとの関連や、海洋底拡大のダイナミクスに関係する。南極リュツオ・ホルム湾沖は南極大陸縁辺域に位置し、ゴンドワナ大陸の分裂に関係した大陸性・海洋性の地殻・マントルの境界領域と考えられている。この領域の地殻・マントル構造を知ることは、大陸分裂とそれに続く海洋底拡大のメカニズムを探る上で重要である。本研究では、地球内部物質の岩石組成、部分熔融量、含水量、温度などに依存する比抵抗値の探査を、海底に観測機器を設置して行った。この海底下比抵抗構造探査により、大陸分裂から初期海洋底拡大についてのモデルを考察することを目指す。

南極リュツオ・ホルム湾沖において、海底電磁場観測を行った。観測では、2 台の海底電位差磁力計を設置した (図 1 の OBEM1, 2)。機器の設置・回収は、第 47 次日本南極地域観測において「しらせ」により行った。観測期間は、2005 年 12 月の機器設置から 2006 年 2 月の機器回収までのほぼ 90 日間である。海底電位差磁力計には、機器投入直前に GPS 時計に合わせた時刻、3 成分の磁場、4 成分の電位差、2 成分の機器傾斜、機器温度データが記録された。

得られた時系列データに対して、ノイズ除去、時刻補正、長周期トレンドの除去、電位差データから電場を計算、機器傾斜補正を行

い、磁場・電場の 3 成分データを得た。なお、OBEM1 の電位差計のデータのの一つには、2006 年 1 月中のおよそ 20 日間にスパイクノイズが多数あった。そのため、この期間のデータは使用していない。また、2 つの観測点とも、傾斜計の 1 成分は計測範囲 (± 8 度) を超えていた。

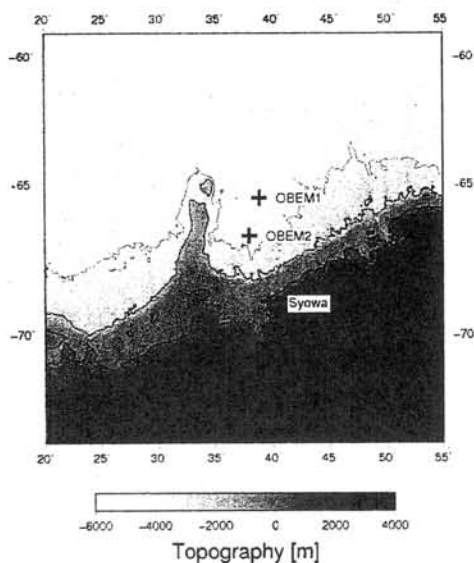


図 1 観測点とその周辺の地形図。黒十字の OBEM1, 2 は海底電磁場観測点の位置を示す。Syowa は昭和基地の位置で、ここでは地表面での磁場 3 成分データが観測されている。地形図の等高線は、2000m ごとに引いている。

得られた磁場・電場データをもとに、地磁気地電流法 (MT 法) による解析を行った。

MT 法では、水平 2 成分の磁場・電場を線形に関係づける MT インピーダンス、および、それから派生する MT レスポンス（見かけ比抵抗と位相）に基づき、地球内部の比抵抗構造を推定する。MT レスポンスは、BIRRP (Chave and Thomson, 2003, 2004)によって磁場・電場の統計的な異常値を取り除いて推定した。解析した MT レスポンスの周期は、240 秒から 81920 秒である。推定した MT レスポンスには 2 つの観測点で共通して次のような特徴が見られた。(1)見掛け比抵抗値が全体的に 10 Ohm·m よりも小さい。また、周期が短くなるほど小さくなり、3000-4000 秒以下では 1-3 Ohm·m になる。(2)見掛け比抵抗値の対角成分と非対角成分の値が、1000 秒以上の周期で同じオーダーになる。比抵抗構造が 1 次元か 2 次元の場合、対角成分はオーダー単位で有意に非対角成分よりも小さくなるため、本研究のデータは単純に 1 次元か 2 次元比抵抗構造を示唆しない。

これら MT レスポンスの特徴の要因として次の 3 つが考えられる。(a) 3 次元的な地形と比抵抗構造の影響、(b)堆積物の影響、(c)地球内部に入射する磁場の影響、である。(a) 海底地形の起伏によって、海底電磁場データが影響を受けることはよく知られている (Schwalenberg and Edwards, 2004 など)。観測点周辺には、海底地形に加え、大陸と海洋の境界がある。高比抵抗の大陸部分と低比抵抗の海水の比抵抗値のコントラストのため、地形の影響が海底電磁場データに強く現れる可能性がある。また、大陸性・海洋性の地殻・マントルは異なる比抵抗構造を示すと考えられており (Hirth et al., 2000 など)、観測点付近の大陸・海洋境界が複雑であれば、海底下比抵抗構造が 3 次元である可能性がある。

(b)観測点付近の堆積物の厚さは、2-3km であると予想される。また、堆積物の比抵抗値は、組成や年代によるが、3-600 Ohm·m である (Simpson and Bahr, 2005)。MT レスポンスの解析周期 (240 秒以上) から想定される探査深度を考えると、堆積物層に対するデータの感度はほとんどなく、1-10 Ohm·m 程度の比抵抗値を単純に堆積物層の影響だけで説明することは難しい。しかし、見掛け比抵抗が全周期にわたって上下にシフトするスタティックシフトや、(a)で述べた 3 次元的な地形・比抵抗構造の影響の組み合わせによって、観測した MT レスポンスの一部が説明できる可能性がある。(c)MT 法は、地球内部に入射する磁場が水平方向の波数がゼロの平面波であると仮定しており、中緯度地域では問題なく適用できる。しかし、本研究の観測点は高緯度であり (南緯 67 度付近)、Auroral electrojet が位置すると考えられている地域である (Marechal, 1986 など)。この electrojet により発生する磁場が平面波ではない可能性が大きい。入射する磁場が平面波ではないときの MT レスポンスは、平面波のときに比べて有為に変化するという結果もある (Jones 1980 など)。この問題への対策としては、ap 指数や AE 指数などを参照して、Auroral electrojet の活動が弱いと考えられる区間のデータのみを解析に用いことや、入射する磁場が平面波ではない場合にも適用できる電磁気探査法 (地磁気水平勾配法, Schmucker, 1970 など) を用いて解析し、MT 法による解析結果と比較することが考えられる。本講演では、得られた MT レスポンスの特徴の要因と考えられるこれらの影響についての評価を行い、リュツォ・ホルム湾沖の海底下比抵抗構造に関する議論を行う。

白鳳丸 KH-07-4 Leg3 航海での固体地球物理観測

野木義史(極地研)・池原実(高知大学海洋コア総合研究センター)

中村恭之(東京大学海洋研究所)・亀尾桂(東京大学海洋研究所)・香月興太(釜山国立大学)

川村明加(高知大学大学院理学研究科)・北重太(高知大学大学院理学研究科)

Geophysical observations during the R/V Hakuho-maru KH-07-4 Leg3 cruise

Yoshifumi Nogi (National Institute of Polar Research), Minoru Ikehara (Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University), Yasuyuki Nakamura (Ocean Research Institute, University of Tokyo), Katsura Kameo (Ocean Research Institute, University of Tokyo), Kota Katsuki (Pusan National University), Sayaka Kawamura (Graduate School of Science Kochi University), and Shigetaka Kita (Graduate School of Science Kochi University)

インド洋は、ゴンドワナを形成していた主要な大陸の南極からの分裂によって形成された海洋であり、超大陸の分裂過程とその原動力を解明する絶好の海域である。しかしながら、インド洋の中でも、南インド洋は、未だ観測が不十分であり、ゴンドワナ分裂に伴う海洋底拡大史がほとんど解明されていない海域でもある。特に衛星重力データから検出されるコンラッドライズ南の WEW-ESE 走向の構造物に関しては、未だ成因が不明であり、また海洋底の年代に関しても明らかでない。これまでの南極地域観測における「しらせ」航路上の観測結果等から、コンラッドライズ南の海洋底が、グンネラス・リッジとコンラッドライズの間で過去活動した海嶺系により捕獲された、初期分裂に形成されたプレートの一部である可能性が示唆されている。コンラッドライズ南の海洋底の年代および WEW-ESE 走向の構造物の成因を明らかにするために、海洋研究開発機構の観測船白鳳丸による、KH-07-4 Leg3 航海において、海底地形、海上地磁気(全磁力および3成分)および重力測定を行った。図1にケープタウンとリュッオ・ホルム湾沖間の、測線を示す。本航海では、コンラッドライズ南の衛星重力データから検出される WEW-ESE 走向の構造物に沿った測線および、コンラッドライズ南とリュッオ・ホルム湾沖間の NNE-SSW 走向の構造物に沿った測線において観測を行った。

コンラッドライズ南の WEW-ESE 走向の構造物に沿った測線からは、振幅約 500nT の明瞭な地磁気異常が検出された。得られた地磁気異常は、M 系列の地磁気異常縞模様であると推定される。一方、コンラッドライズ南とリュッオ・ホルム湾沖間の NNE-SSW 走向の構造物に沿った測線では、振幅約

300nT 程度の地位磁気異常プロファイルが得られた。また、両測線の一部から白亜紀地磁気静穏期に形成されたと考えられる地磁気異常プロファイルも得られた。これらは、コンラッドライズ南の海洋底が、初期分裂に形成されたプレートの一部である事を支持するとともに、異なる海底拡大方向をもつ拡大系が同時期に存在していた可能性も示す。

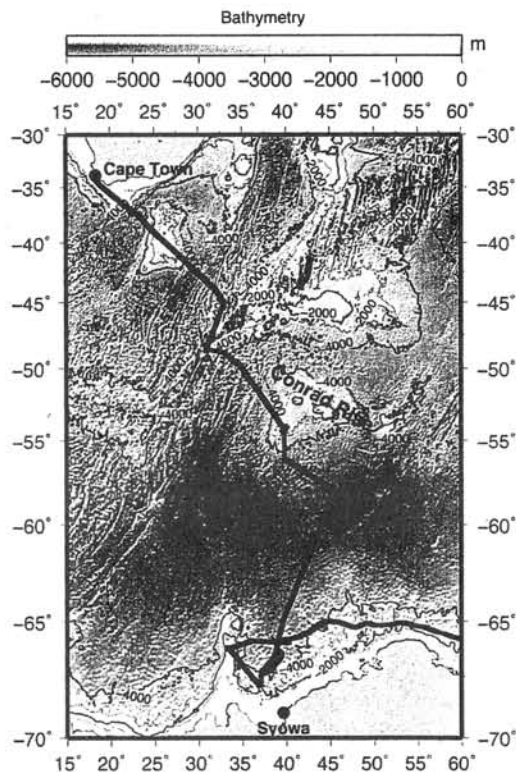


図1 海底地形図のグレースケールイメージと、ケープタウンとリュッオ・ホルム湾沖間の白鳳丸 KH-07-4 Leg3 航海の測線(太線)。

第 28 回極域地学シンポジウム

ポスター発表要旨

The 28th Symposium on Polar Geosciences

Abstracts for Poster Presentation

南大洋オーストラリア区における過去 30 万年間の 漂流岩屑 (IRD) 変動

西川 舞 (高知大学大学院理学研究科),

池原実, 村山雅史 (高知大学海洋コア総合研究センター)

Variations of ice rafted debris (IRD) during the past 300kyr in the Australian sector of the Southern Ocean

Mai Nishigawa (Graduate School of Science, Kochi University),

Minoru Ikehara, Masafumi Murayama (CMCR, Kochi University)

1. はじめに

過去の地球環境に対する南大洋の役割は重要視されている。中でも氷期-間氷期サイクルと密接に関わっている CO_2 濃度を変動させた原因及びプロセスがどのようなものであるか、また、それに対して南大洋の表層水塊や海水分布、生物生産などのサブシステムがどのように影響を及ぼしていたかを復元・解析する事が近年の古気候・古海洋研究の大きな課題である。このような背景の下、南大洋における氷期-間氷期スケールの生物生産量変化、極前線を代表とする表層水塊の変動などを明らかにする研究を行った。

2. 試料と分析

この研究では、現在の APF (Antarctic Polar Front) の直下に位置するサイト (南緯 54.7 度, 東経 140.0 度, 水深 3358m) で採取されたマルチプルコア (SIR-1MC) とピストンコア (SIR-1PC) を使用した。

浮遊性有孔虫の酸素同位体比層序に基づくと、SIR-1PC の最上部は約 5 万年前、最下部は約 29 万年前に相当し、酸素同位体ステージ (MIS) 4~8 である事が既に分かっている。

これら堆積物中の CaCO_3 量をカーボンクローメータ (UIC 社・CM5012 型) を用いて測定した。また顕微鏡下で、IRD: Ice Rafted Debris ($>150 \mu\text{m}$) をカウントし、堆積物 1g 当たりの IRD 量を算出した。

3. 結果と考察

南大洋オーストラリアセクターの緯度トランセクト表層堆積物の分析結果によると、極前線を挟む南北で堆積物組成が大きく異なり、北側では CaCO_3 が卓越するのに対し、南側では有孔虫やココリスなどの炭酸カルシウム殻の化石は殆ど産出せず、形質プランクトン化石が卓越する。よって、本コアにおける CaCO_3 量が 0%~65% の間で変化し、それが氷期に減少し、間氷期に増加する事は、氷期-間氷期スケールでの極前線の南北振動を示していると考えられる。

また、IRD 量は氷期に増加し、間氷期には殆ど見

られない。この事は、氷期に本サイトまで氷山が到達した上で融解していた事、つまり現在南緯 60 度付近にある冬季海水縁が、南緯 54 度より北側まで北上していた事を示す。これは、極前線や前線帯が、氷期には緯度にして 6 度以上北上していたと解釈出来る。IRD 量の変動幅は 0~5.68mg/g で、氷期後半にピークが存在し、直後の間氷期に激減するというパターンを示している。この事から、氷期末に最も海水が拡大し、その後間氷期に突入すると急激に棚氷が縮小したと考えられる。また、本サイトでは、南大西洋で MIS2~4 に認められる IRD イベント (例えば、Kanfoush et al., 2002) に相当する、より短周期の IRD のピークは、MIS6, 8 の氷期に見られない。

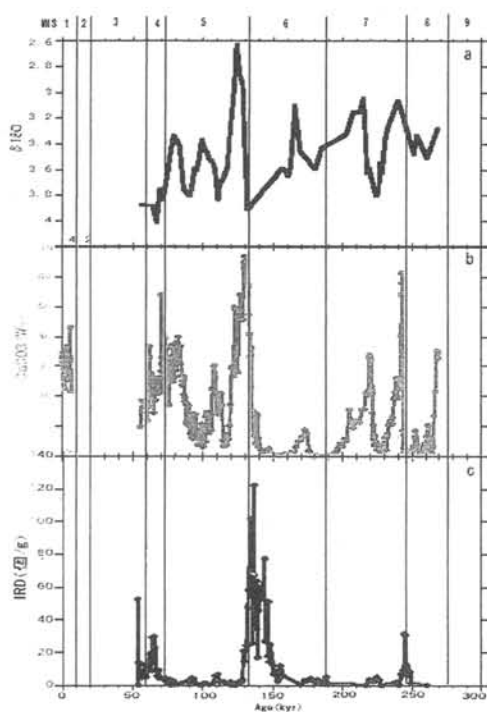


Fig. 1 SIR-1PCにおける
a 浮遊性有孔虫の酸素同位体比
b 炭酸カルシウム量
c 乾燥堆積物1gあたりのIRD量

東南極ウィルクスランド沖の堆積物の珪藻化石と磁気特性について

菊池奈緒美・中井睦美 (大東文化大学)

Diatom fossils and rock-magnetic properties of the marine sediment from off Wilkesland, East Antarctica.

Naomi Kikuchi, Mutsumi Nakai (Daito-Bunka Univ.)

石油公団による東南極大陸 Wilkesland 沖のコア (TH94 航海, GC1502, 1503, 1508) については, 各種磁気特性 (保磁力, 残留保磁力, 飽和磁化, 飽和残留磁化, 帯磁率, 鶴 0.1T および 0.3T の S 率など) について, B—M 境界より上の層準で, 3—4 回の明確な変動が観察でき, 対比可能なことが報告されている (中井ほか, 2006). また, これらの海域のコアに関しては, 古地磁気学や環境磁気学的な報告もされており (Matsuoka and Funaki, 2003, Sakai, *et al.*, 1998, 森尻ほか, 2005), 古地磁気学的にも岩石磁気学的にも, 有効なデータであることが確認されている. 以上の 3 つのコアの位置, 深度は, GC1502 (東経 112.34, 南緯 63.99, 2656m), GC1503 (東経 116.00, 南緯 63.29, 3368m), GC1508 (東経 118.44, 南緯 64.00, 3232m) である.

上記の岩石磁気特性は, 磁性鉱物の含有量だけでなく, 磁性鉱物の変動と粒子サイズの変動とに影響を受けると言われている. そこで, 中井ほか (2006) は, これらのコアの堆積物中の磁性鉱物についての岩石磁気学的検討をおこない, 振動型磁力計を用いた真空中における熱磁化分析, MPMS を用いた低温熱磁化分析, 段階的等温残留磁化付加曲線などの結果から, 上記の岩石磁気特性を担う磁性鉱物は, Ti の少ない *Maghemite* であるという結論に達した. また, 磁性鉱物の酸化度の変動に影響されやすい磁気特性 (S 率, 各種ヒステリシス特性, 帯磁率) と MPMS による低温熱磁化

分析結果の間に明確な関係がみられないため, コアの各種磁気特性の変動の要因は, 堆積物の粒度変化である可能性が高いと報告した.

さらに中井ほか (2006) は, 岩石磁気特性が変動する特徴的な層準について, 高知大学海洋コア海洋コア総合研究センターの Hydro200s による堆積物の粒度分析について報告している. この粒度分析の結果によると, これらのコアの堆積物は, 主として粘度からシルトサイズの碎屑物からなり, 一部に 150 μm 以上の大きさの IRD を含むことがわかった. 分布は正規分布に近い分布ではなく, 数 μm 以下のサイズの細かい粒子の分布が多いという特徴がある. これらは, また, 岩石磁気特性の変動は, 数 μm 以下の粒子の含有率の変動と比較的良好一致する事が報告されている. もし, 岩石磁気特性の変動が粒度変化の変動を表しているとすれば, その粒度変化の主要因は, 気候変動と連動した南極大陸の氷床変動による, 氷によって運ばれた碎屑物の変動である可能性が高い.

以上の報告をふまえて, 磁気特性の変動が氷床変動と関連していることを明らかにするために, 粒度分析と同様に, 岩石磁気特性が変動する特徴的な層準について, 珪藻化石分析をおこなった. 本研究はこの珪藻化石分析と岩石磁気特性の変動との関連についての報告である. 岩石磁気特性分析は, 粒度分析・化学分析・珪藻などの化石分析などに比較して, 測定時間が短くてすむ.

今回のコアで、岩石磁気特性の変動の主要因が明らかになる事によって、東南極大陸周辺のほかのコアについても、岩石磁気特性の変動から氷床変動の予想がつく可能性がある。

本研究に用いた試料は、古地磁気・岩石磁気用に採取した 7cc 古地磁気用キューブ内の試料である。これらのキューブは、半割のコアからほぼ連続的に採取したものである。これらの連続試料を 1 つ置きに選択し、珪藻化石分析用の試料とした。

珪藻化石を堆積物から分離濃集するためには、分散に使用する H_2O_2 の濃度や反応時間を決定する必要がある。同じく南極周辺の堆積物の珪藻分析をしている Taylor *et al.* (2001), Taylor and McMinn (2002) を参考に、何度か H_2O_2 の濃度や反応時間を変化させ、珪藻化石のプレパラートは次の様な過程で作成する事とした。

堆積物は古地磁気用キューブから、竹楊枝で取り出し、約 100℃で乾燥させ、2 g 測り取る。15%の H_2O_2 20ml と HCl を 2 滴入れ、24 時間放置する。水を加え、80ml に薄め、2 時間放置する。上澄みを取って、再び 80ml に薄め、30 分放置する。2000 回/分の遠心分離を 10 分かけ、上澄みを捨て、200ml に薄める。ガラス棒で攪拌し 20 秒待ってから他のピーカーに移し、残砂を捨てる (2 回)。攪拌した中心から 2ml を取り出し、20ml に薄める。さらに攪拌して中心から 0.5ml 取り、カバーガラス (18×18mm) に広げる。乾燥させて封入する。さらに顕微鏡で 1 枚ずつ個体をカウントする。はじめの試料が 2g に満たない場合には、カウントした結果は計算で処理をして平均化する。

プレパラートを観察した結果、どの堆積物にも珪藻化石は非常に良く発見された。ただし、同条件で処理したにもかかわらず、質量あたりの珪藻化石個体数には、層準により相当変動する事が明らかになった。特に、注目すべき種として、*Fragilariopsis kerguelensis*, *Fragilariopsis*

curta, *Eucampia antarctica* などを見る事ができる。これらの珪藻種からは、氷床変動の予想が可能である。

本研究には、高知大学海洋コア総合センターの共同利用研究の装置を利用させていただいた。

文 献

- Matsuoka, H. and Funaki, M. (2003)
Characteristics of the natural remanent magnetization (NRM) of a core collected from offshore Wilkes Land, East Antarctica. *Antarctic Record*, 47, 315-327.
- 森尻理恵ほか (2005) 「南極地域石油天然ガス基礎地質調査」(FY1980-1999) によって得られた海底堆積物コアの古地磁気・岩石磁気測定。地質調査研究報告。56, 341-373.
- 中井睦美ほか (2006) 南極周辺海域における磁気特性を用いた第四紀気候変動の解明。平成 15 年～17 年科学研究費補助金 (基盤研究(C)) 研究成果報告書。
- Sakai, H. *et al.* (1998) Paleomagnetic study of marine sediments from Antarctic Sea-Central Wilkes Land margin, Dumond'Urville Sea and Victoria Land Basin-. *Polar Geoscience*, 11, 222-238.
- Taylor, F. and McMinn, A. (2002) Late Quaternary diatom assemblages from Prydz Bay, Eastern Antarctica. *Quaternary Research*, 57, 151-161.
- Taylor, F. *et al.* (2001) Holocene paleoclimate change in the Antarctic Peninsula: evidence from the diatom, sedimentary and geochemical record. *Marine Micropaleontology*, 41, 25-43.

セールロンダーネ山地第 50 次地学隊の野外調査

大和田正明 (山口大), 志村俊昭 (新潟大), 柚原雅樹 (福岡大), 東田和弘 (名古屋大), 亀井淳志 (島根大)

Focus of the 50th-JARE geological field work in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica

M. Owada (Yamaguchi Univ.), T. Shimura (Niigata Univ.), M. Yuhara (Fukuoka Univ.), K. Tsukada (Nagoya Univ.), A. Kamei (Shimane Univ.)

はじめに 東南極セールロンダーネ山地は 22~28°E, 71~73°S に位置し, 原生代末から古生代初に起きた東西 Gondwana 大陸の衝突帯の中心に位置していた。そのため, この地域における変成作用や火成作用の詳細を明らかにすることは, Gondwana 大陸における深部地殻の形成過程の解明につながる。

セールロンダーネ山地における JARE の地質調査は, 第 25 次隊の先駆的調査にはじまり, 第 26-32 次隊において山地全域に展開された。その後, 研究成果の蓄積期間において, 昨年 17 年振り第 49 次隊が山地中央部における変成岩類の精密調査が実施された。この研究は南極観測第 VII 期計画の国立極地研究所・一般プロジェクト研究観測 (P-5-1) 「超大陸の成長・分裂機構とマントルの進化過程の解明 (研究代表: 極地研・本吉洋一)」の一環として 3 年間 (第 49 次~51 次隊) 実施される。また, このプロジェクトは国際年 (IPY) とも連動している。

地質概要 セールロンダーネ山地の地質は, E-W ないし NW-SE 方向の構造が卓越する。それらの方向にほぼ平行な剪断帯 (Main Shear Zone: 以下 MSZ) が分布する (Shiraishi et al. 1997)。MSZ は, セールロンダーネ山地の南西部を E-W に伸び, 剪断作用を受けた幅は数 km に達するところもある。また, 原岩構成と変成度の検討から, 西部から中央部を通り南東部へ抜ける Sør Rondane Suture (以下, SRS) が想定されている (Osanai et al., 1992)。

MSZ の南側はおもに原生代中・後期 (c. 950Ma) のトータル岩 (Takahashi et al. 1990) から構成され, その北側は堆積岩や火成岩を原岩とする変成岩類から構成される。一部の火成岩起源変成岩は, 原岩形成として原生代 (c. 1000Ma) の年代値が報告されている (Shiraishi & Kagami 1992)。変成作用のピーク年代は原生代末~古生代初期とされている (Asami et al. 2005, Shiraishi et al., 2008)。これらを古生代初期 (c. 520-470 Ma) の火成岩類 (花崗岩類, 苦鉄質岩類) が貫く (e.g. Tainosho et al. 1992)。

第 50 次隊の調査計画 近年, セールロンダーネ山地を含む ドロンイングモードランドは Gondwana 超大陸形成時の衝突帯に位置すると考えられるようになってき

た。セールロンダーネ山地は日本隊やベルギー隊の地質調査によって全域の地質図が完成し, 原岩構成に基づく帯区分がなされている (Osanai et al., 1992)。特に, 南西部に広く分布する変トータル岩体は原生代中・後期の年代値を示し, 岩石化学的特徴はリュツォ・ホルム岩体の原生代変トータル岩と類似する。また, これらの岩体は太古代 TTT と共通の組成的特徴を有し, 原生代における ドロンイングモードランドのテクトニクスに拘束条件を与える。また, パンアフリカン期の火成岩類は, 代表的な岩体で年代値や化学的特徴が論じられているが, それらを総合したテクトニックセッティングやマグマの起源については十分議論されていない。また, 変成史と火成活動史を結びつけた地殻の深部過程についても今後の課題である。第 50 次セールロンダーネ山地調査隊では, このような問題点を踏まえて, 以下の地質調査 (75 日間) を実施する。

・パンアフリカン期 (6-5 億年前) における地球規模の歴史, 特に大陸移動の歴史を解明する。

・地殻深部で形成した変成岩・深成岩の検討から, 大陸衝突時に地殻深部でおきた諸現象を精密に解析する。

・火成岩の検討から大陸衝突時におけるマントルダイナミクスの変遷を解明する。(カッコ内は担当予定者)

特に 50 次隊では, 火成活動とテクトニクスの関係について検討する。具体的な目標は以下の通り。

1. パンアフリカン期火成活動 (大和田, 全員)
2. Rb-Sr および Sm-Nd アイソクロン年代ならびに SHRIMP ジルコン年代による各種深成岩の活動時期の確定 (柚原)
3. Gondwana 超大陸形成にかかわるセールロンダーネ山地の原生代~顕生代アダカイト質マグマとそれらに伴われる苦鉄質岩の成因関係 (亀井)
4. Gondwana 超大陸形成に関わる変形の時期と構造解析, 特に MSZ の解析 (東田)
5. 地殻深部の部分熔融現象の解明と地殻マントル相互作用 (志村, 大和田)

尚, 上記のメンバーの他にフィールドアシスタントとして阿部隊員 (第 49 次隊参加) が行動をとる。

Broadband seismic deployments in East Antarctica: IPY contribution to understanding the Earth's deep interior – AGAP/GAMSEIS -

M. Kanao¹ S. Tanaka² and S. Tsuboi²

¹ National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems

² Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Introduction:

Existing permanent seismic stations belonging to the Federation of Digital Seismographic Network (FDSN) allows resolution of the structure beneath Antarctica at a horizontal scale of 1000 km, which is sufficient to detect fundamental differences in the lithosphere beneath East-West Antarctica, but not to clearly define the structure within each sector. While, observation of seismicity around the Antarctic is limited by the sparse station distribution and the detection level for earthquakes remains inadequate for full evaluation of tectonic activity (Reading, 2002). In addition to lithospheric studies, the observed teleseismic waveforms have advantages in investigating the deeper part of Earth's interior such as lower mantle, D" layers, the core-mantle boundary (CMB) and the inner core as they are effectively a large span array located in the southern high latitude.

The justification for developing broadband arrays addresses both the unique aspects of seismology in Antarctica and general issues that would be common to global Earth sciences; for example: - lithospheric dynamics in an ice-covered environment;- how lithospheric processes drive and may be driven by global environmental change (sea level, climate);- the scale and nature of rifting as a process that has shaped the continent and dominated its evolution;- the role of Antarctica as the keystone in the super-continent formation and break-up throughout Earth's history;- how the tectonic and thermal structure of the Antarctic lithosphere affect current ice sheet dynamics;- age, growth, and evolution of the continent and processes that have shaped the lithosphere;- the effect of improved seismic coverage on global models of the lithosphere, together with deep interior of the Earth.

The International Polar Year 2007-2008 provides a good opportunity to make significant advances in seismic array deployment to achieve these science targets.

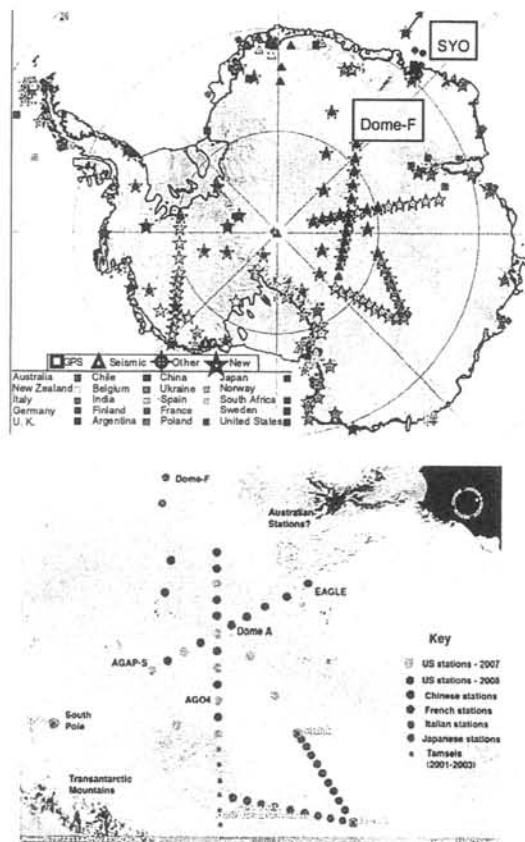
Significant advance at IPY:

Discussions at the SCAR / ANTEC (Siena, Italy, 2001) and SEAP (Structure and Evolution of the Antarctic Plate, Boulder, Colorado, 2003) workshops have led to the development of a strategy to improve our knowledge of the Antarctic by using broadband deployments. The originally named 'Antarctic Arrays' is an ambitious program to improve seismic instrumentation on and around the Antarctica (<http://www.antarcticarrays.org>). A science plan designed to improve the understanding of the Antarctic Plate with this array deployment had been developed prior to the initiation of the IPY when it was transferred into the chief category of the 'POLER observation NETwork (POLENET)' (IPY project #185).

The original idea of 'Antarctic Arrays' strategy has

several components, including 1) process-oriented experiments such as 3D-arrays; 2) evolving regional arrays; and 3) an enhanced permanent backbone network. The strategy of attaining a sufficient density of stations (20-30) in symmetrically disposed sectors of the continent allows optimal ray path coverage across Antarctica and improves tomographic resolution (Ritzwoller, et al., 2001).

Several temporary field broadband experiments have been carried out in the past a decade around continental marginal areas of Antarctica (e.g., Bannister and Kennett, 2002; Muller and Eckstaller, 2003; Reading, 2003; Roberts on, et al., 2002; Kanao et al., 2002). The broadband monitoring observations at several outcrops around the LHB area also contribute to the improvements of spatial resolution of the stations in Antarctica over the marginal part of Eastern Dronning Maud Land.



Distribution map of stations during IPY 2007-2008.

Project management and structure:

It is clear that this deployment strategy can only be achieved through strong international cooperation. Nations with winter-over bases (existing or planned) and with logistical capabilities in a particular sector can contribute to the deployment of permanent stations in the backbone network and / or portable instruments in the evolving regional arrays.

More than twenty cooperative researchers from Japanese and international institutions have specific tasks to carry out in this project. Several members will install field stations to record the data during the IPY period: others will make analyses of specific topics by use of the observed data sets combined with regional and global data. After the assembly of the results from national participants, it is planned to hold an international workshop to integrate these results with results from international collaborators. There will be a number of opportunities for the researchers in the project to meet and discuss the progress of the project deployments and results and future deployments.

For education, some members will give lectures and talks for a wide range of school children about the research of the project and its results, together with an introduction to IPY and polar investigation. We sincerely believe that we have an obligation to teach the younger generation for the advancement of natural sciences.

Field activities:

The main field area targeted by the Japanese contribution is Eastern Dronning Maud Land - Enderby Land, East Antarctica. Several distinctive geophysical observations that reveal the structure and evolution of this area have been made by the Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) in the last few decades. By carrying out the broadband deployments on this area, more detailed signatures can be obtained concerning tectonics and structure from lithosphere to asthenosphere, together with the heterogeneous characteristics of the deep interior of the Earth.

A northern part of the Eastern Dronning Maud Land, particular from Mizuho Plateau to Dome-F area, would be the most plausible place with enough logistical support to make a deployment of the portable seismic stations. The temporary stations along the inland traverse routes on the continental ice-sheet on the Plateau would be installed for the IPY periods by using snow terrain vehicles with support from aircraft. These temporary observation stations, that have long-term batteries and large capacity digital data-loggers, can be utilized for the other science purposes, such as geophysical, meteorological, glaciological and biological studies.

The 'Antarctica's Gamburtsev Province / Gamburtsev Mountain SEISMic experiment (AGAP / GAMSEIS) (IPY project # 147)' project, in contrast, is an internationally coordinated deployment of 25-35 broadband seismographs over the crest of the Gamburtsev Mountains (Dome-A area). The proposed seismological investigations would provide detailed information on crustal thickness and mantle temperatures and thus provide key constraints on the origin of the Gamburtsev Mountains, and more broadly on the structure and

evolution of the entire East Antarctic craton. Understanding the origin of the Gamburtsev Mountains and the structure of the East Antarctic craton is also vitally linked to other first-order problems, such as the geological history of East Antarctica, the role of its topography and heat flow on Earth's climate and glacial history, and the geophysical and geological controls on subglacial lakes.

Study of the Deep Interior:

In addition to the crust - upper mantle studies, the teleseismic waveforms observed with the GAMSEIS have a great advantage for investigating the deep Earth interior, such as the lower mantle, the D" region and the CMB by using the seismographs as a large aperture array located in the southern high latitude. Many earthquakes will be observable at the GAMSEIS planned area. The epicentral distance range from 60° to 90° would be especially suitable for the observation of the D" reflected phases as well as the core reflected phases of ScS and PcP. That from 90° to 130° would be appropriate for the observation of the core diffracted phases of Pdiff, and Sdiff, and a core phase of SKS. So far we have only a few regions in the southern hemisphere where the deep mantle structure has been examined in detail. Thus a new broadband observation program in Antarctica is expected to be an important opportunity to get valuable data.

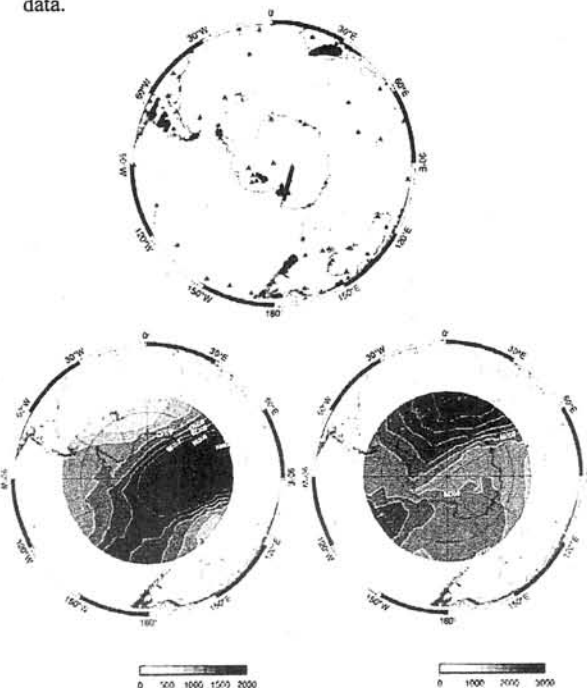


Figure. (left) Distribution map of the permanent and temporary stations in Antarctica (red color; from IRIS/DMS and PASSCAL). Hypocentral data collected in 1990-2004 (green color). Maps of observable earthquake numbers for the epicenter distances of 60°-90° (central), 90°-130° (right), respectively. Gray scales show the earthquake numbers that are counted at each location using an earthquake list for the period from 1990 to 2004.

International collaboration

The broadband deployment project is endorsed by several national Antarctic committees and contribute to individual international program of 'TransAntarctic Mountain SEISmic experiment (TAMSEIS; Lawrence, et al., 2006)', 'AGAP / GAMSEIS (IPY project # 147)' and 'POLENET (IPY project #185)' during the IPY 2007-2008. The data set observed during the IPY will be initially stored and available for all the related cooperatives and the other geo-scientists by Internet service from the data library server of the National Institute of Polar Research (POLARIS system). Then it will immediately be offered to the world data centers of seismology, such as Incorporated Research Institute of Seismology / Data Management System (IRIS/DMS), FDSN/ GSN, PACIFIC21 centers. The web-pages are available in general and also contribute to the Joint Committee on Antarctic Data Management / Antarctic Master Directory (JCADM/AMD)

References:

- Bannister, S., and B. L. N. Kennett (2002), Seismic Activity in the Transantarctic Mountains - Results from a Broadband Array Deployment. *Terra Antarctica*, 9, 41-46.
- Kanao, M., A. Kubo, T. Shibutani, H. Negishi and Y. Tono (2002), Crustal structure around the Antarctic margin by teleseismic receiver function analyses, Gamble J.A., Skinner D.N.B. and Henrys S. (eds) *Antarctica at the close of a millennium*, Royal Society of New Zealand Bulletin 35, 485-491.
- Lawrence, J. F., D. A. Wiens, A. A. Nyblade, S. Anandakrishnan, P. J. Shore, and D. Voigt (2006), Upper mantle thermal variations beneath the Transantarctic Mountains inferred from teleseismic S-wave attenuation. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L03303, doi:10.1029/2005GL024516.
- Muller, C., and A. Eckstaller (2003), Local seismicity detected by the Neumayer seismological network, Dronning Maud Land, Antarctica: tectonic earthquakes and ice-related seismic phenomena. IX Intern. Sympo. Antarc. Earth Sci. Programme and Abstracts, 236.
- Reading, A. M. (2002), Antarctic seismicity and neotectonics. *Antarctica at the close of a millennium*. ed. by J. A. Gamble et al. Wellington, The Royal Soc. of New Zealand Bull., 35, 479-484.
- Reading, A. M. (2003), The SSCUA broadband seismic development, East Antarctica. IX Intern. Sympo. Antarc. Earth Sci. Programme and Abstracts, 270.
- Ritzwoller, M. H., N. M. Shapiro, A. L. Levshin, and G. M. Leahy (2001), Crustal and upper mantle structure beneath Antarctica and surrounding oceans. *J. Geophys. Res.*, 106, 30645-30670.
- Robertson, S. D., D. A. Wiens, P. J. Shore, G. P. Smith, and E. Vera (2002), Seismicity and tectonics of the South Shetland Islands and Bransfield Strait from the SEPA broadband seismograph deployment. *Antarctica at the close of a millennium*, ed. by J. A. Gamble et al. Wellington, The Royal Soc. of New Zealand Bull., 35, 549-554.

東南極ナピア岩体, Mt. Cronus における 始生代の火成作用について

加々島慎一・佐藤寛子 (山形大学)

Archaean magmatism of the Mt. Cronus in the Napier Complex, East Antarctica
Shin-ichi KAGASHIMA and Hiroko SATO (Yamagata Univ.)

始生代及び原生代の大陸地殻の形成と進化を解明することは、地球史を解く上で重要なテーマの一つである。ナピア岩体は、約 38 億年前～の年代を示す火成岩起源の片麻岩が分布しており、初期大陸地殻の形成と進化を研究するのに適したフィールドである。

Mt. Cronus は、ナピア岩体の中心部に位置し、平均的な面積を持つ露岩である。超高温変成作用の指標となるサフィリン+石英、斜方輝石+珪線石のアイソグラッドの中にある。調査した場所は、チャーノカイトが主体で、変ハンレイ岩との層状片麻岩体となっているが、ガレが多く露頭は少なめである。

チャーノカイトは中～細粒で弱い片麻状構造をもち、主成分鉱物は石英、斜長石、斜方輝石、メソパーサイト、少量の黒雲母、ザクロ石である。変ハンレイ岩は中～細粒で弱い片麻状構造をもち、主成分鉱物は角閃石、斜長石、斜方輝石、単斜輝石である。転石のグラニュライトは、サフィリン、斜方輝石、珪線石、ザクロ石等を含む。

分析には、数m程度の狭い範囲から採取したチャーノカイト 6 試料、これと隣接する変ハンレイ岩を 3 試料、及び露頭は確認出来なかったが、転石のグラニュライトの計 10 試料の鏡下観察と全岩化学分析を行った。またチャーノカイトと変ハンレイ岩については Sr 同位体比測定も行った。

チャーノカイト中のメソパーサイトについて斜長石-アルカリ長石ソルバス温度計を用いたところ、1,000～1,100°Cと見積もられた。またグラニュライトにはサフィリンと石英の共生が認められるほか、サフィリンと石英の間に珪線石と斜方輝石のコロナが形成されており、1,050°C以上の温度条件からの等圧減温反応を示す。

チャーノカイトの SiO_2 は 77.2～78.7 wt%, 変ハンレイ岩は約 49 wt% で、それぞれ主要・微量元素ともに均質な値を示している。半別図において、チャーノカイトはプレート内花崗岩、変ハンレイ岩は MORB の領

域にプロットされる。

チャーノカイトと変ハンレイ岩について Sr 同位体比測定を行った。誤差は大きいがチャーノカイトから Rb-Sr 全岩アイソクロン年代として 2.72 ± 0.12 Ga が得られ、Sr 同位体比初生値 (Sr/値) は 0.7089 と高めである。一方、変ハンレイ岩の Sr 同位体比は 0.7029 と低い。

現在まで得られたデータによる、Mt. Cronus における始生代の大陸地殻形成と進化モデルについて検討を行った。Mt. Cronus からは、石英長石質片麻岩中のジルコンから 36.5 億 (コア)、30 億、27 億、24 億の年代値が報告されている (Asami et al., 1998; Asami et al., 2002)。今回、誤差が大きいものの、チャーノカイトから 27 億年の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代が得られ、この年代は Mt. Cronus における火成活動を示していると考えられる。チャーノカイトの Sr/値が高いことは、その原岩が海洋地殻起源ではなく、既にあった大陸地殻を原岩としていることを示す。よって、初期大陸地殻の形成後の地殻の成長をみていることになる。超高温変成作用の圧力条件は、1GPa 程度と見積もられ等圧減温しているが、このような条件を満たす熱源としては、マントルからの熱の移動、すなわちマントルブルームを考えると説明しやすい。ブルームにより熱せられた地殻が部分熔融し花崗岩質地殻を成長させる。また、ブルームの一部が地殻に貫入・定置し Sr/値の低いハンレイ岩を作ったのであれば、Mt. Cronus におけるチャーノカイト、変ハンレイ岩、超高温変成岩の 3 つの成因が結びつく。

<引用文献>

- Asami et al., 1998, *Polar Geosci.*, 11, 172-199.
Asami et al., 2002, *Precamb. Res.*, 114, 249-275.

ランドベースの南極氷床による氷河底堆積・変形作用と 氷床ダイナミクス・変動史との関連

-東南極リュツォ・ホルム湾・スカルプスネス露岩域からのマクロスケールの証拠-

岩崎正吾・三浦英樹・前本英明

Subglacial sedimentation and deformation beneath the land-based Antarctic Ice Sheet
and its relationships with glacial dynamics and history:

a macroscale evidence from the Skarvsnes ice-free area, Lützow-Holm Bay, East Antarctica

Iwasaki Shogo, Miura Hideki and Maemoku Hideaki

1. はじめに

地球上最大の氷塊である南極氷床は、主にアイスストリームや溢流氷河などの速く流動するストリームフローの地域を通じて周りの海へ排出されている。それ故に、多くの研究がそのストリームフローのコントロールの理解に集中しており、断層境界のリフト盆地に堆積する変形可能な氷河底堆積物と基底における水の存在の重要性を指摘している。一方、それらストリームフローの間のよりゆっくり流れている氷縁地域は相対的に安定なものと暗に考えられているが、そのダイナミクスに関連する基底コンディションについては、ほとんど知られていない。しかしながら、そのような氷縁地域は、現在の南極氷床、特に、西南極氷床と比較して約 10 倍の体積の水を含むランドベースの東南極氷床 (EAIS) の沿岸域の広範囲を占めるので、その基底コンディションを明らかにすることは、EAIS の全般的なダイナミクスや変動特性の理解だけでなく、南極全体のより正確な氷床モデリングにとっても欠くことができない。そこで本発表では、ランドベースの東南極氷床縁下での最終氷期における堆積・変形作用を宗谷海岸・スカルプスネス露岩域に分布する未固結堆積物の分布や組成、構造に基づいて議論し、氷河ダイナミクス・氷河史との関連についても検討する。

2. 記載

本研究で注目された宗谷海岸・スカルプスネス露岩域の堆積物は次のような分布・組成・構造を示す (図 1)。

- ① 基盤岩の丘に挟まれた北東-南西方向に連なる浅い谷の中を占める。
- ② 最大の厚さが 7 m 以上のよく締まった砂泥質な基質支持ダイアミクトンである。
- ③ 基質中に散在する礫の a 軸ファブリックは南西への選択的配向性を示す。
- ④ 基質中には、南西側に緩やかに傾き下がる連続性の良い平滑な面 (Type 1 面) が広く行き渡り、それらの面の間には従属的な連続性の悪い割れ目も無数に生じている。
- ⑤ Type 1 面とその従属的な割れ目によって分けられた堆積物断片は、主として板状をなす。
- ⑥ Type 1 面より低頻度であるが連続性のよりよい平滑な面 (Type 2 面) も網目状に発達し、Type 1 面をシャープに切ったり、いくつかの Type 1 面を繋ぐように連続する。
- ⑦ Type 2 面は、露頭の多くの場所で堆積物を深さ方向に完全に貫いている。

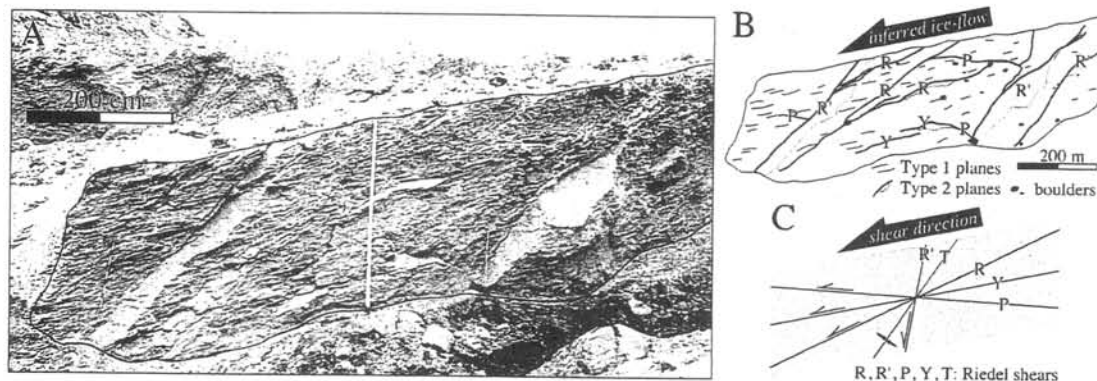


図 1. 堆積物のクローズアップ (A) と概略図 (B)。

B には、リーデル剪断面 (C) としての Type 2 面の構造解釈も示されている。

3. 解釈と議論

上記の堆積学的特徴は、その堆積物が氷河底ティルであることを示す。すなわち、よく締まった外見は氷荷重圧による圧密、そして高い細粒物含量は氷河底運搬時の活発な摩耗と粉碎を反映する。また、礫ファブリックは主要な運搬方向が南西向きであったことを示すが、これは堆積物分布域で想定されるかつてのローカルな氷流方向と矛盾しない。さらに、その堆積物は次のような構造学的特徴・解釈から、ロジメントプロセスによって堆積され、その後氷河底剪断作用によって一部が修飾された *deformed lodgement till* と見なされる (図 2)。すなわち、そのティルの基質中に広くいき渡る Type 1 面は氷河底堆積プロセスの一つであるロジメントに、そして Type 1 面をシャープに切っている Type 2 面は氷河底変形に帰される。

また、これらの地質学的記録は、それを覆っていた氷床が底面融解し、氷の変形だけでなく氷河底地層の変形 (可能性として底面すべり) によっても流動していたことを示す。氷河底地層の変形は、アイスストリームや溢流氷河などのダイナミックな氷流の主要なメカニズムと成りうるが、ここで注目された氷河底ティル中にロジメントプロセスによる初生の板状構造が良好に保存されていることは、その地層変形の氷の動きへの寄与が乏しかったことを強く示唆する。リュツォ・ホルム湾地域では、LGM の EAIS がほとんど拡大しなかったことが知られているが、それは氷床表面での質量収支変動だけでなく、上記のような比較的流動しにくい力学的応答性を反映するのかもしれない。

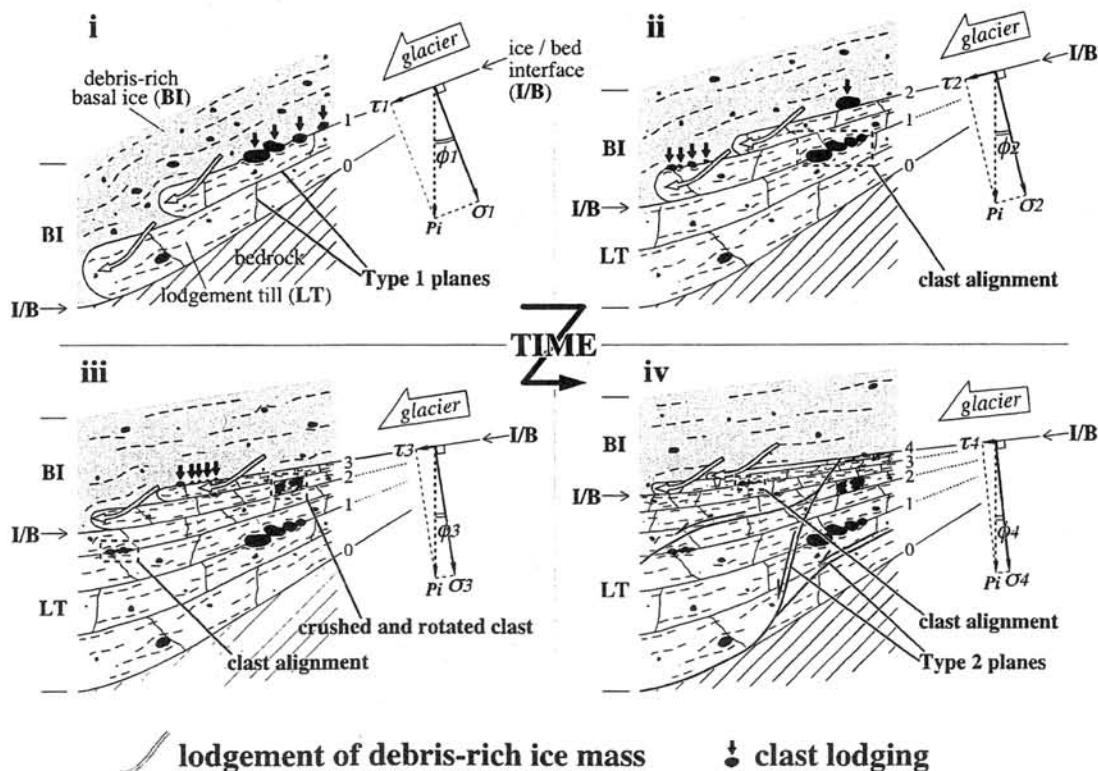


図 2. 堆積学的・構造学的特徴の形成過程の模式的復元。

本文で記載しなかった礫の一例配列 (clast alignment) や破碎・回転された礫 (crushed and rotated clast), 板状構造の上方薄化の形成過程も示されており、それらは氷河底応力パターンの変化と関連づけられている。その応力パターンの変化は、堆積面 (氷/地層境界) の角度の漸進的な減少の為に起き、その角度の減少は、i から iv への時間経過に伴う氷河下流側に開いた緩やかな底をともなう基盤岩凹地へのベールデブリの漸進的な蓄積の結果である。 ϕ は氷/地層境界面の傾斜 ($\phi_1 > \phi_2 > \phi_3 > \phi_4$)、 P_i は氷荷重圧、 σ は垂直応力 ($\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3 < \sigma_4$)、 τ は剪断応力 ($\tau_1 > \tau_2 > \tau_3 > \tau_4$)。

地形・表層堆積物から推定される中期完新世における東南極氷床変動の可能性

前奎英明 (広島大)・三浦英樹 (極地研)・岩崎正吾 (広島大)

A possibility of glacial fluctuation in the East Antarctic Ice Sheet during mid Holocene deduced from the landforms and unconsolidated subsurface sediments

**MAEMOKU Hideaki (Hiroshima Univ.), MIURA Hideki (NIPR)
and IWASAKI Shogo (Hiroshima Univ.)**

INTRODUCTION

History of glacial fluctuation and related climate change along the margin of the Antarctic ice sheet since Last Glacial Maximum (LGM) is able to be reconstructed by relative sea level change shown by raised marine sediments or coastal terraces due to isostatic rebound (Omoto, 1977, Yoshida, 1983, Hirakawa and Sawagaki, 1998, Miura et al., 1998). Miura et al. (2002) revealed that the rate of coastal emergence due to isostatic rebound by glacial retreat had fluctuated even during mid Holocene by observing stratigraphy of raised beach which had seventeen tidal steps at Skarvsnes in Lützow-Holm bay, east Antarctica and indicated the occurrence of a warming event in the mid Holocene.

There are some reports indicating the warming event in the mid Holocene from other areas of Antarctica. In Terra Nova bay, west Antarctica, ages of abandoned penguin rookeries are concentrated from 5,000 to 4,000 ¹⁴C BP (conventional) and the warming event corresponding to that period could be recognized as "Penguin Optimum" (Baroni and Orbelli, 1994). Concentration of ages of abandoned penguin rookeries to the close period as pointed in Terra Nova bay was also reported in Windmill islands, Wilkes Land, east Antarctica (Goodwin, 1993).

At Skallen, which is one of the rock outcrops located along the southern coast of

Lützow-Holm Bay, East Antarctica, we can observe many types of geomorphological and geological features suggesting direct evidence for glacial advance just in front of present margin of east Antarctic ice sheet. This study aims to construct the history of glacial fluctuation to detect millennium scale climate change in the east Antarctica during Holocene by geographical mapping of glacio-marine sediments and geomorphological evidence for glacial advance or. transgressional marine environment observed in Skallen.

GEOMORPHOLOGY AND HOLOCENE SEDIMENTS

Skallen is one of the rock outcrops located at S69°40', E39°26' along the southern coast of Lützow-Holm Bay, Dronning Maud Land, East Antarctica. Basement rock in Skallen is almost composed of Pre-Cambrian gneiss which forms east Antarctic shield. Skallen has 14.4 km² area and is divided into two small hills by structural line of EW direction, and both of them are eroded down lower than 200m in altitude by glaciation of the east Antarctic ice sheet (Fig.1).

A plenty of clear glacial striations are remained on the rock surface in places, therefore the timing of glacial retreat since LGM should be later compared to northern part of Lützow-Holm Bay where we seldom can observe them owing to strong weathering by

possibly longer period of exposure.

Skallen glacier, one of major tributaries of the east Antarctic ice sheet, flows into Lüzow-Holm Bay just on the east of Skallen forming Skallen ice stream. Unconsolidated sediments deposited during late Quarternary cover the concavity of basement rock thinly. Several meters of glacio-marine sediments in thickness including marine shell fragments are reported around Oike lake in the middle of Skallen or on the gentle slopes facing Skallen ice stream (Omoto, 1977; Yoshida, 1983).

There is one glacial lake named Magoke lake which spreads out 300m by 200m in front of northern side of Skallen glacier and melted water pours out to Lüzow-Holm Bay through a small outlet at the east of the lake. Clayey debris produced by fluctuation of ice sheet are stretched around Magoke lake. We can observe a lot of shell fragments of marine bivalve "Laternula elliptica" in the sediments (Igarashi et al.,1995). Sedimentary process and depositional timing of glacial till or littoral sand including shell fragments must indicate the

glacial fluctuation of east Antarctic ice sheet since LGM, especially during Holocene.

Glacio-marine sediments around Lake Magoke Ike forms flat topography just like marine terrace classified into three categories according to their elevation (Fig.2). We found several pushed moraines, judging from their topography and folded geological structure, which were lined on terraces or rocky slope parallel with the ice sheet fringe

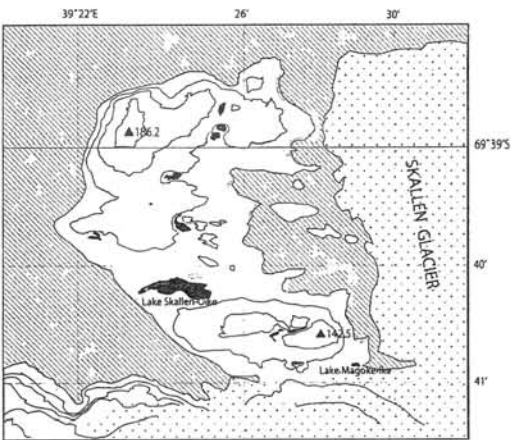


Fig.1 Unconsolidated sediments in Skallen

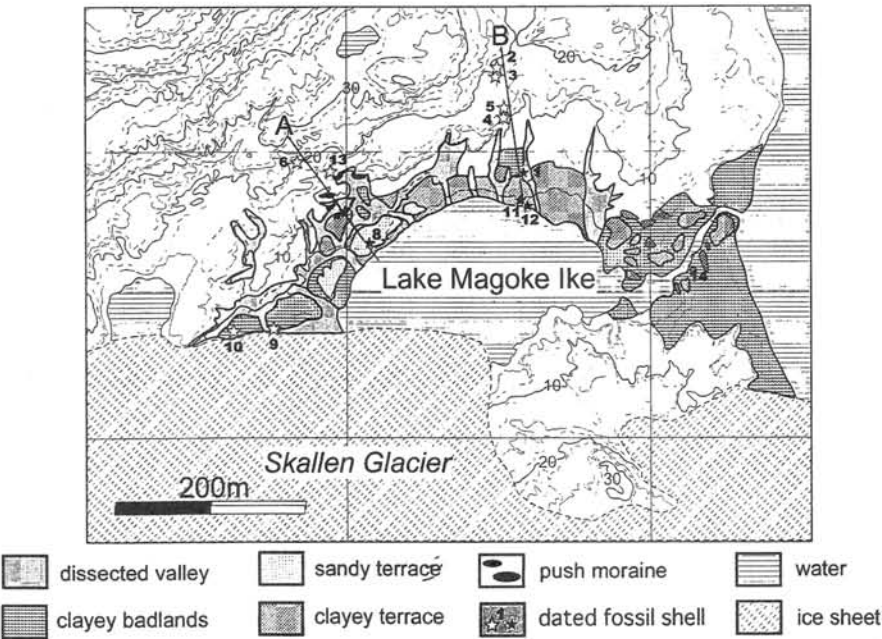


Fig.2 Landform map around Lake Magoke Ike

南極海ウイルクスランド沖堆積物の古地磁気研究

酒井英男, 谷川喜彦 (富山大学理工学研究部) 船木 實 (国立極地研究所)
松岡東香 (筑波学院大学情報コミュニケーション学部)

Paleomagnetic study of the deep-sea sediments off Wilkes Land,
east Antarctica

SAKAI HIDEO, TANIGAWA YOSHIHIKO (University of Toyama)
FUNAKI MINORU (NIPR), HARUKA MATSUOKA (Tsukuba Gakuin University)

1. はじめに

Sakai et al. (1998)では, 南極海ウイルクスランド沖 (図1) において「白嶺丸」TH94 航海により掘削された 9 本のボーリングコア (GC1501~1509)の残留磁化を研究した. 得られた伏角の深さ変化 (図2) には, 明確な極性逆転が示され, 地磁気年代に基づく過去 100 万年間の堆積速度の分布も議論された.

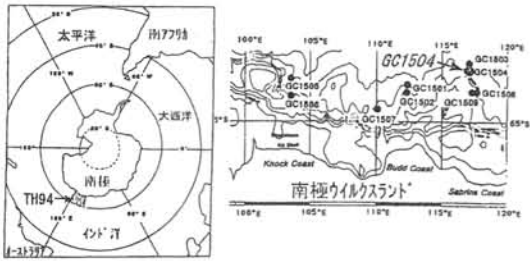


図1. 南極海ウイルクスランド沖でのコア掘削点.

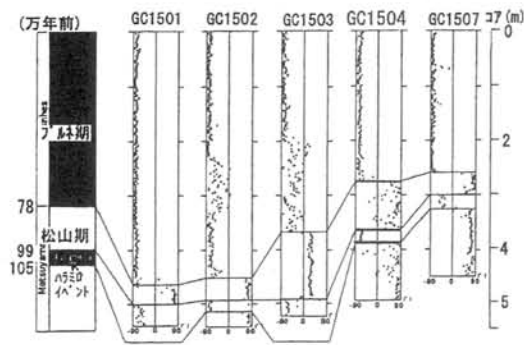


図2. 磁化伏角の変動の例.

更に, 堆積環境の指標となる帯磁率等の磁気物性には増減パターンが認められ, これらのコアが, 研究の少ない極域海域における地

磁気と堆積環境の変動を探る貴重な試料であると認識された. また, 松岡(2005)では GC1501 コア堆積物の磁化機構の複雑さが示され, それは, 南極海域の特異な堆積環境と関連すると考えられた.

以上の研究を踏まえて, ウイルクスランド沖の堆積物を用いて, 地磁気・堆積環境に関する新たな視点での研究を進めている (横山他, 2008 など). 本稿では, GC1504 コアを用いた古地磁気の研究を報告する.

2. 地磁気変動

GC1504 コア (523cm 長) から約 250 個の研究試料を 7cc 試料ケースで採取し, 富山大学の超伝導磁力計 (2G 760R) を用いて交流消磁実験を行った. 安定な残留磁化を抽出して地磁気極性逆転表と対比した結果, 図3に示す様に偏角と伏角の変動は良く対応し, ブルネ/松山磁極境界 (78 万年前) とハミロ地磁気イベント (89~107 万年前) が決められた.

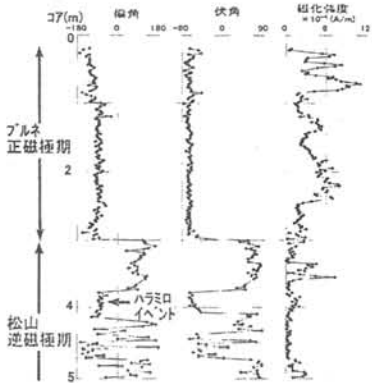


図3. GC1504 コア磁化伏角の変動の例.

この結果は Sakai et al. (1998) と一致し、地磁気年代から推定される堆積速度は、コアを通してほぼ一定と得られた(図4)。

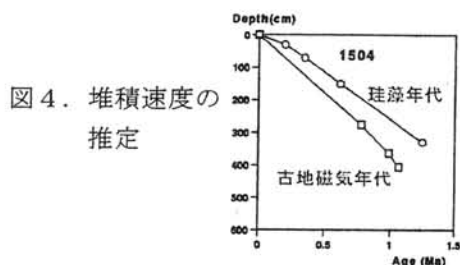


図4. 堆積速度の推定

次に地磁気逆転を認めたコア堆積物の近傍を、1cc ケースで採取して磁化変動を調べた結果、ブルネ/松山境界では、ハブミ境界に比べてより短期間で磁極逆転が起きている傾向が見られた。

3. 磁性鉱物と堆積環境の研究

(1) 堆積物の磁性鉱物の研究

幾つかの試料について帯磁率の温度変化と熱消磁の実験を行った結果、2種類のブロッキング温度(300-350度と580度)が示された。ブロッキング温度580度の鉱物はマグネサイトであり、これが初期鉱物として、その一部が300-350度のブロッキング温度の二次鉱物に変化したと考えられた。二次鉱物の同定は今後の課題であるが、GC1501の研究(松岡, 2004)では、マグネサイトの存在が示されている。また逆磁極期の堆積物にマグネサイトも認められる等、堆積環境の変化が磁性鉱物に反映されている可能性もある。

(2) ウィルクスランド沖での海流の古流向

帯磁率異方性を測定し、異方性最大軸について残留磁化(磁北)からみた方向を検討した。コアのトップから約250cmまではばらつくが、深部で最大軸の方向はまとまる傾

向にあり、北西70度-南東110度の方角を示した。図5に示すように、この方向は南極大陸(等深線)に沿っており、これは、コア掘削点における数10万年前の海流の底層流の方角を示している可能性がある。

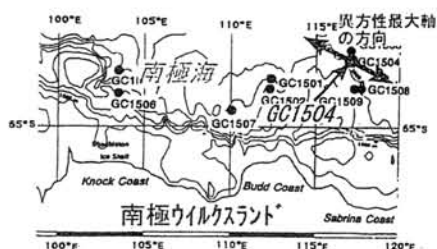


図5. 帯磁率異方性の方向

帯磁率異方性の研究も、ウィルクスランド沖での堆積環境の変遷に有用と考えられ、今回得た異方性の方向と他の研究データとの対比に興味ももたれる。

海洋堆積物を用いる極域海域の地磁気・環境の研究については、北極海での研究(Sakai et al., 2005)との比較も含めて、今後、進める予定でいる。

参考文献

- Sakai, H., E. Kikawa, T. Ishihara et al. (1998): Paleomagnetic study on marine sediments from Antarctic Sea- Wilkes Land margin, Dumon d'Urville Sea and Victoria Land Basin-, Polar Geosci., vol. 11, 222-238.
- Sakai, H., Y. Banba, M. Horii et al. (2005): Polarity reversals of remanent magnetization in sedimentary core from Northwind Ridge, western Arctic Ocean. Polar Geoscience, No. 18, 67-82.

Study on the internal structure and variations in surface environment of the Earth, revealed by broadband seismic array deployments around the Lützow-Holm Bay Region, East Antarctica - IPY 2007-2008 -

M. Kanao,¹ Y. Usui,² T. Inoue,² and A. Yamada²

¹ National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems

² Geodynamics Research Center, Ehime University

Introduction:

Deployments of the broadband seismic arrays on the whole Antarctic continent have been ambitious dreams of the involved scientists. Existing seismic stations belonging the Federation Digital Seismographic Network (FDSN) allows resolution of the structure beneath Antarctic continent at a horizontal scale of 1000 km, which is sufficient to detect fundamental differences in the lithosphere beneath East and West Antarctica, but not to clearly define the structure within each sector. In addition, seismicity around the Antarctic is limited by the sparse station distribution and the detection level for earthquakes remains inadequate for full evaluation of tectonic activity (Reading, 2002). A strategy of attaining a sufficient density of seismic stations on the Antarctic continent allows optimal ray path coverage across Antarctica and improves tomographic resolution (e.g., Ritzwoller, et al., 2001).

Several temporary field broadband deployments have been carried out in the past decades around the continental margins of Antarctica (e.g., Bannister and Kennett, 2002; Muller and Eckstaller, 2003; Reading, 2003; Robertson, et al., 2002). A monitoring observation, on the contrary, have been conducted almost ten years at several outcrops around the Lützow-Holm Bay Region (LHB), Eastern Dronning Maud Land, East Antarctica, by the Japanese Antarctic Research Expedition (JARE). The broadband array deployments in LHB could have an significant contribution not only to the improvement of station resolution to the FDSN, but also to several seismic array projects; for instance, the Global Alliance of Regional Networks (GARNET), Antarctic Arrays (<http://www.antarcticarrays.org>; including Regional

Leapfrogging Arrays, together with Program Oriented Experiments); and to the SCAR / Antarctic Neotectonics (ANTEC) program.

Seismic Deployments:

Broadband seismic array deployments have been carried out since the end of 1996 to the present in March 2007, at several outcrops and on ice sheet along the Soya Coast – Prince Orav Coast, in LHB. The observation system consists of a portable broadband seismometer, a data-recorder (LS8000-WD), shield-type lead batteries and solar-panels. The CMG-40T seismometers have been used with a three-component velocity-response (flat frequency response for velocity from 0.1 s to 20 s). The signal is digitized at the sampling frequency rate of 10 / 20 Hz with a dynamic range of 90 dB (16 bits), followed by stored on a hard-disk (2GB capacity) attached in the data logger. The total powers of the solar panels are 250-270 W, with 12 V DC output, and the total capacity of the lead batteries is more than 500 Ah for each station.

Except for power supply failure in some stations during winter seasons, observations have been conducted fairly well and significant number of teleseismic events and local earthquakes / ice-quakes were recorded. As of May 2007, a total number of six field stations (TOT, LNG, SKV, SKL, S16 and RDV) have been continued to recording. The last two stations were set up particularly for the IPY 2007-2008 period. In near future, it is planned to transmit the stored data in digital data-recorders to the PC/WS servers of the adjacent permanent station Syowa (SYO: 69S, 39E), together with the National Institute of Polar Research (NIPR) at Tokyo, via

telecommunication system by way of Iridium satellite transmission.

The obtained data including IPY period can be initially stored and published to the related cooperatives by Internet from the data library server of NIPR (POLARIS system; <http://polaris.nipr.ac.jp/~pseis/garnet/>). Then immediately offered to the world data centers of seismology, such as Incorporated Research Institute of Seismology / Data Management System (IRIS/DMS), FDSN, PACIFIC21 centers. These global centers are opened in general seismologists and also the meta-data (summary of the deployments and information of the contact persons, URL, etc.) shall be offered to the Joint Committee on Antarctic Data Management / Antarctic Master Directory (JCADM/AMD) simultaneously.

Significant Scientific Results:

Several remarkable geophysical evidences to reveal the structure and dynamics of the LHB have been achieved by JARE's geo-scientific activities in these few decades. By analyzing the teleseismic data recorded by broadband deployment on this area, more detailed information can be obtained concerning tectonics and structure in the depth ranges from lithosphere to asthenosphere, together with heterogeneous characteristics of the deep interior of the Earth. Moreover, glacial related seismic events have been detected by the local seismic arrays; which give rise to unique information in relation to the local impact of global climate changes on East Antarctica.

The recorded waveform data have enough quality for the uses of various analyses in order to clarify the heterogeneous structure and dynamics of Antarctica. The conventional passive seismic source studies such as receiver functions and shear wave splitting, surface wave tomography have been carried out for the outcrop stations along the Coast. For example, the shear velocity models resulting by short period receiver function inversion indicate the gradual complex structure from the north to the south along the coast in LHB, toward the Shirase

Glacier, in depth ranges of the crust and the uppermost mantle (Kanao et al., 2002).

Figure 2 shows depth variations of the upper mantle seismic discontinuities (410 km and 660 km) beneath the LHB, derived from long period receiver function analysis by using 62 teleseismic events recorded at the local broadband arrays. Strong depth variations are identified particular for the 660 km discontinuity. Shallow depths in topography of the 660 km discontinuity are found beneath the continental ice sheet SE apart from the Arrays, which might reflect the paleo upwelling of the mantle plume associated with super-continent break-up.

Mantle anisotropy derived by SKS splitting analysis in this area (Usui et al., 2007) anticipate the relationship between 'fossil' anisotropy and the past tectonics involving break-up and amalgamation of the Gondwana. Since the fast polarization directions are mainly NE-SW direction in the LHB, which is consistent with paleo compression stress during Pan-African age. We consider that the origin of mantle anisotropy originated chiefly by lattice preferred orientation produced involving the Gondwana assembly, rather than present asthenospheric flow parallel with the Absolute Plate Motion.

In addition to the crust – upper mantle studies, the obtained teleseismic waveforms have advantages to the investigation of the deeper Earth's interior such as the lower mantle, D" zones, CMB and the Inner Core by applying as a large span arrays located in the southern high latitude.

Concluding Remarks:

Broadband seismic array deployments around the LHB, East Antarctica, could offer sufficient quality for the various analyses of the heterogeneous structure of the Earth's interior. Conventional passive source studies such as receiver functions and shear wave splitting were carried out; indicating heterogeneous structure from the north to the south along the coast in LHB. Thus, the broadband deployments in LHB could achieve an effective contribution to the 'Global Alliance of Regional

Networks;GARNET', in addition to principle international Antarctic Array programs.

Discussions at the SCAR / ANTEC (Siena, Italy, 2001) and SEAP (Structure and Evolution of the Antarctic Plate, Boulder, Colorado, 2003) workshops have led to the development of a strategy to radically improve our knowledge of the Antarctic seismic array deployments. These kind of Antarctic array projects are endorsed by Japanese national committee and combined with individual international Antarctic program, such as the 'TransAntarctic Mountain SEISmic experiment (TAMSEIS; Lawrence, et al., 2006)', 'Antarctica's Gamburtsev Province / GAmgburtsev Mountain SEISmic experiment (AGAP / GAMSEIS)' and 'POLer observation NETWORK (POLENET)' during the IPY 2007-2008.

References:

- Bannister, S., and B. L. N. Kennett (2002), Seismic Activity in the Transantarctic Mountains - Results from a Broadband Array Deployment. *Terra Antarctica*, 9, 41-46.
- Kanao, M., A. Kubo, T. Shibutani, H. Negishi and Y. Tono (2002), Crustal structure around the Antarctic margin by teleseismic receiver function analyses, Gamble J.A., Skinner D.N.B. and Henrys S. (eds) *Antarctica at the close of a millennium*, Royal Society of New Zealand Bulletin 35, 485-491.
- Lawrence, J. F., D. A. Wiens, A. A. Nyblade, S. Anandakrishan, P. J. Shore, and D. Voigt (2006), Upper mantle thermal variations beneath the Transantarctic Mountains inferred from teleseismic S-wave attenuation. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L03303, doi:10.1029/2005GL024516.
- Muller, C., and A. Eckstaller (2003), Local seismicity detected by the Neumayer seismological network, Dronning Maud Land, Antarctica: tectonic earthquakes and ice-related seismic phenomena. IX Intern. Sympo. Antarc. Earth Sci. Programme and Abstracts, 236.
- Reading, A. M. (2002), Antarctic seismicity and neotectonics. *Antarctica at the close of a millennium*. ed. by J. A. Gamble et al. Wellington, The Royal Soc. of New Zealand Bull., 35, 479-484.
- Reading, A. M. (2003), The SSCUA broadband seismic development, East Antarctica. IX Intern. Sympo. Antarc. Earth Sci. Programme and Abstracts, 270.
- Ritzwoller, M. H., N. M. Shapiro, A. L. Levshin, and G. M. Leahy (2001), Crustal and upper mantle structure beneath Antarctica and surrounding oceans. *J. Geophys. Res.*, 106, 30645-30670.
- Robertson, S. D., D. A. Wiens, P. J. Shore, G. P. Smith, and E. Vera (2002), Seismicity and tectonics of the South Shetland Islands and Bransfield Strait from the SEPA broadband seismograph deployment. *Antarctica at the close of a millennium*, ed. by J. A. Gamble et al. Wellington, The Royal Soc. of New Zealand Bull., 35, 549-554.
- Usui, Y., Kanao, M., Kubo, A., Hiramatsu, Y., Negishi, H. (2007), Upper mantle anisotropy from teleseismic SKS splitting beneath Lützow-Holm Bay region, East Antarctica, U. S. Geological Survey and The National Academies, USGS OF-2007-1047, Short Research Paper 013; doi:10.3133/of2007-1047.srp013.

2008 年中国四川地震の昭和基地の広帯域地震計記録と理論地震波形記録との比較

坪井誠司 (IFREE, JAMSTEC) ・ 中村武史 (DONET, JAMSTEC)

Comparisons of synthetic seismograms for the 2008 Sichuan earthquake and observed seismograms at Showa station.

Seiji Tsuboi (Ifree, JAMSTEC) and Takeshi Nakamura (DONET, JAMSTEC)

May 12, 2008 Wenchuan earthquake (31.016N 103.365E, Mw7.9) was one of the largest earthquakes in the past 100 years, which occurred inland of continental region. The earthquake was felt in large part of Chinese continent and it caused serious damages in the Dujiangyan-Mianzhu-Mianyang area because of its proximity to the populated town. We inverted broadband seismograms to obtain rupture history of this earthquake.

We apply the waveform inversion by Kikuchi and Kanamori [1991, 2003] to obtain slip distribution in the source fault at the mainshock. We use 47 broadband seismograms of IRIS GSN and IFREE OHP seismic stations with epicentral distance between 30 and 100 degrees. The broadband original data are integrated into ground displacement and band-pass filtered in the frequency band 0.002-1 Hz. We use the velocity structure model IASP91 [Kennet and Engdahl, 1991] to calculate the wavefield near source and stations. We assume that the strike of the fault plane is 229 degree and the dip angle is 33 degree, which is basically the same as that of Global Centroid Moment Tensor solution. The length of subfault is 20 km along strike and 10 km along dip, and 10 point sources are placed at each subfault. The assumed fault

length is 320 km in total. The nonnegative least-squares method [Lawson and Hanson, 1974] is employed for constraining rake angle in the waveform inversion. Figure 1 shows location of epicenter and aftershocks, which illustrates strike and the total length of the earthquake fault. The results of the inversion show the unilateral rupture to the northeast with two main asperities along the faults; the maximum slip of 9.3 m with the reverse fault mechanism at approximately 60 km northeast of the epicenter and another large slip with right lateral mechanism at 200 km northeast of the epicenter [Nakamura et al., 2008]. The total amount of the released seismic moment corresponds to moment magnitude Mw=8.0. The results demonstrate that the rupture initiates at the southwestern end of the earthquake fault and propagated toward northeast along the fault. It is reported by several researchers [e.g., Lin et al., 2008] that the surface faulting is observed along the pre-existing active faults. Both amount and direction of fault slip obtained in this study are consistent with those observed at the surface. We calculate synthetic seismograms with this source propagation model for a realistic 3D Earth model using the spectral-element method [Komatitsch et al., 2002; Tsuboi et al., 2003] and found that the synthetics match well

with the observed seismograms, which demonstrates that the source model is accurate.

In Figure 2, we have compared synthetic seismogram and observed seismogram recorded by STS-1 broadband seismometer at Syowa station. Because the epicentral distance of Syowa station is 112 degree, the first arrival body wave at this station is Pdiff, which is the P-wave diffracted along the core-mantle boundary and this station is not included in the source inversion. However Figure 2 demonstrates that the agreement between synthetics and observation is satisfactory, which means that the source rupture model is accurate enough.

epicenter is shown in larger view at the lower right corner of the figure.

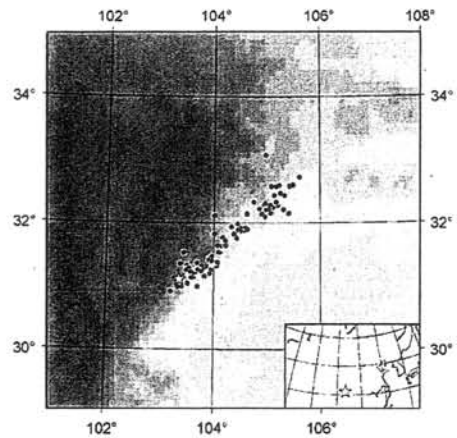


Figure 1. Epicenter (yellow star) of the May 12, 2008 Wenchuan earthquake and aftershocks (red circles) which occurred for one week after the mainshock. Location of

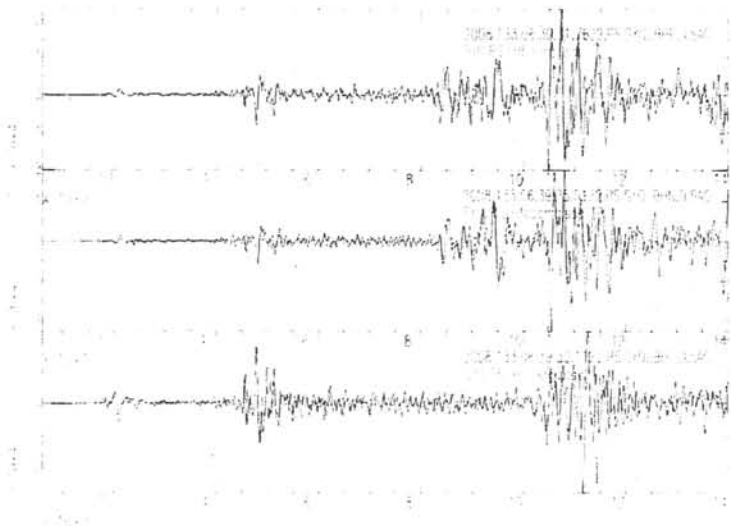


Figure 2 Comparison of synthetics (red) and observation (black) for Syowa station.

リュツォ・ホルム湾沖における海底圧力の季節変動

早河秀章、青山雄一、土井浩一郎、野木義史、澁谷和雄(極地研)

Seasonal variations in ocean bottom pressure
off Lutzow-Holm Bay, Antarctic Ocean

H.Hayakawa, Y.Aoyama, K.Doi, Y.Nogi, K.Shibuya (NIPR)

1. はじめに

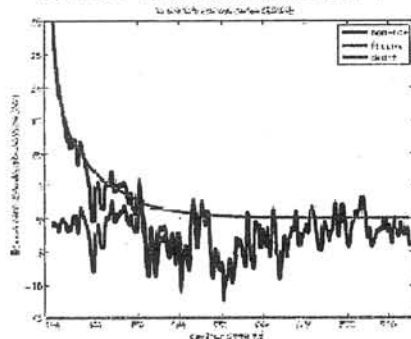
南極地域観測隊(JARE)では、第46次隊において海底圧力計をリュツォ・ホルム湾沖の海底(S66.5, E37.5, 水深約4500m)に設置して以来、次の観測隊が回収と設置を繰り返すことにより海底圧力変動観測を継続している。測地学的また地球物理学的に詳細な調査を行うことが困難な海洋において海底圧力計観測は、設置点の質量変動を高い観測精度と時間分解能で行うことが可能である。そして衛星重力ミッション GRACE との比較により南極海における地域的な海洋質量分布の季節変化や年周変化などの検出が期待される。これまでもデータ回収後に潮汐解析や GRACE との比較がおこなわれてきた(例えば青山他, 2006)が、現在第49次隊の回収ぶんまで合わせて3期、約3年2ヶ月間のデータが蓄積され比較的長期の海洋質量変動の議論が可能になってきた。海底圧力計の設置位置はコンチネンタルライズにあるが、昭和基地まで約300kmと比較的沿岸に近いため南極周極流だけでなく南極沿岸流や付近の地形の影響のある海洋変動がみられると推測される。本研究では海洋圧力変動の非潮汐成分からリュツォ・ホルム湾沖の海域の質量変動について GRACE や ECCO モデルとの比較をおこないその季節変動を調査した。

2. データ処理

表1に各海底圧力計データの概要を記した。データはすべて1分サンプリングで取得されている。本研究で用いた期間は、2004年12月16日～2008年2月20日の1162日間である。海底圧力計の観測量は海底圧力[dbar]であるが潮汐解析や他観測との比較などに

便利な等価水深[cm]に換算して扱った。また各圧力計によって若干設置箇所が異なることから水水位変化(平均水位からの偏差)を用いている。海底圧力変動の非潮汐成分を得るために潮汐解析プログラム BAYTAP-G, BAYTAP-L を用いて潮汐解析をおこない潮汐成分を求め原データから差し引いた。海底圧力計にはセンサーの特性や水深4500mにおける高水圧の影響などにより観測開始から2～3ヶ月続く指数関数的減衰を示すセンサードリフトがある(図1)。

図1: OBP 非潮汐残留成分とドリフト

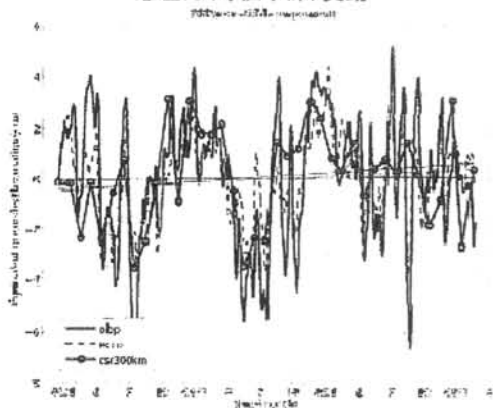


ドリフトは顕著であるが非潮汐成分の変動と比べてそれほど大きくないので単純なフィットでは精度の悪いものになってしまう。そこで ECCO モデルの海底圧力値を差し引いて変動幅を小さくした上で指数関数項を足し合わせた非線型モデルを用いたフィットをおこなった。図2はセンサードリフトを取り除いた全期間の非潮汐成分である。ECCO モデルと GRACE (CSR RL04, 300km filter)による等価水深変化もプロットした。GRACE データは GRACE Tellus の Level3 海洋データを用いている。図2では観測とモデルが概ね一致しているが全期間の一次トレンドを求めたところ ECCO モ

デルと GRACE には正のトレンドがみられるのに対し海底圧力計データは非常に小さなトレンドとなった。また海底圧力計には平行観測期間(12月~1月)があるがこの期間の一致はそれほど良くない。またドリフトの除去が十分でなくその影響が残留している可能性が考えられる。

次に、求めた非潮汐成分に 30 日のカットオフ周期のローパス・フィルタを適用し短周期成分を取り除いたあと月ごとの平均をもとめた。ECCO モデルの海底圧力も同等の処理をおこなった。図 3 は年ごとに海底圧力計データ、ECCO モデル、GRACE データ(CSR RL04 300km filter)をプロットしたものである。

図 2: 海底圧力計, ECCO モデル, GRACE による海底圧力(等価水深)変動



3. 質量変動

図 3 から海底圧力計データ、ECCO モデルまた GRACE の海底圧力の年周、季節変動はよく一致していることがわかる。等価水深は南極の夏に上昇し冬に下降しており年周変動が卓越している。ただし 2007 年はその振幅が明瞭でなく 7 月以降は各データの一致があまりよくない。GRACE と海底圧力計データが一致しない月は設置点の海水温度の擾乱変化が比較的大きく現れる傾向があり局地的変化がおこった可能性がある。ただしこの温度擾乱の振幅は 0.04 度程度と小さいことと事例が少ないことから温度変化との関連性の議論は現在のところ難しい。

グローバルな変動をみることのできる ECCO モデルと GRACE データでは、南極大陸とアフリカ大陸に挟まれた海域における時間変動から南極周極流や南極沿岸流、またこれらによる渦流の海洋変動が確認できる。これらからリュツォ・ホルム湾沖の海域の質量変動要因を検討した。ところで GRACE Tellus で提供されるデータは短周期変動を取り除く処理の過程で海洋モデルを用いておりモデルによる変動値が加えられている。したがって ECCO モデルや GRACE データと海底圧力計データの一致しない期間やずれはモデルでは説明できない海洋変動をとらえている可能性がある。季節変動帯域におけるこの誤差要因について考察する。

表 1: 海底圧力計

機体:

データ期間: 日数

OBP461 (46 次投入 unit1, 短期型):

04.12.16-05.02.09: 56 日間

OBP462 (46 次投入 unit2, 長期型):

04.12.16-06.02.14: 426 日間

OBP473 (47 次投入 unit3, 長期型):

04.12.16-05.02.09: 428 日間

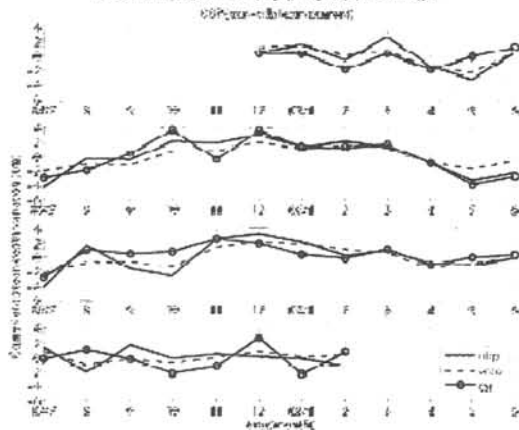
OBP482 (48 次投入 unit2, 長期型):

04.12.16-05.02.09: 431 日間

長期型には約 2 ヶ月の平行観測期間がある。

設置点は GRACE の軌道上にある。

図 3: 一年ごとの海底圧力計, ECCO モデル, GRACE による海底圧力(等価水深)の比較



南極昭和基地におけるインフラサウンド観測

石原吉明（国立天文台）・山本真行（高知工科大）・戸田茂（愛知教育大学）・青山雄一（国立極地研究所）・金尾政紀（国立極地研究所）・松島健（九州大学）

Infrasound Observation at Syowa station, Antarctica

Ishihara, Y. (NAOJ), M.-Y. Yamamoto (Kochi Univ. of Tech.), S. Toda (Aichi-edu Univ.), Y. Aoyama (NIPR), M. Kanao (NIPR), T. Matsushima (Kyushu Univ.)

インフラサウンドとは

インフラサウンドとは、人間の可聴域（20Hzから20kHz）よりも低周波の音波のことであり、より正確には空気中を疎密波が伝播する際に重力の影響を無視する事が出来なくなる遮断周波数

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \frac{\gamma g}{2c} \quad (1)$$

より高く、人間の可聴域下限（20Hz）より低い周波数領域の音波をさす。式（1）中の γ は比熱比（地球大気の場合は1.4）、 g は重力加速度、 c は静止大気中の音速であり、例えば15°Cの等温大気の場合には、遮断周波数 f_c は約3mHz（～300s）となる。また、しばしば遮断周波数 f_c 以下の大気重力波領域の一部を含めて、インフラソニック波とも呼ばれるが、大気中を伝播する周波数20Hz以下の疎密波だと理解しておけば差し支えない。

インフラサウンドは可聴域の音波と異なり、非常に長い距離を伝播する特徴がある。空気中を伝わる疎密波は、主として幾何減衰と空気の粘性による内部減衰によって減衰するが、内部減衰は周波数の2乗に逆比例するため、インフラサウンドの周波数域では音波と比較して内部減衰がほとんど効かない。例えば1kHzの音波が1m伝わる際と同等の内部減衰を起こすには、例えば0.1Hzのインフラサウンドの場合では10万kmの伝播距離が必要である。このため、例えばTNT火薬1kTレベルの爆発により励起されたインフラサウンドは、数千km以上の長距離にわたって伝播することが知られている。

様々な自然現象および人間活動等によりインフラサウンドが励起される事が分かってきており、地震・津波・火山噴火・オーロラ等により励起されたインフラサウンドが検出されている。固体地球と大気さらには超高層大気とのカップリングを考える上で非常に重要なデータを提供する。

インフラサウンド観測網の現状と問題点

インフラサウンドの定常的な観測は、主として核

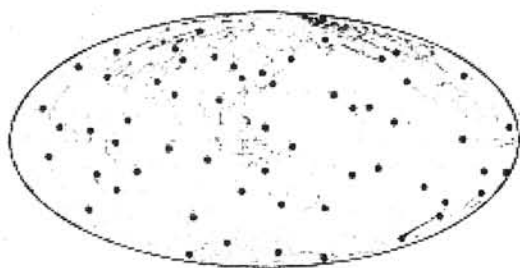


図1 CTBT-IMSインフラサウンド観測網。核実験探知を目的に全世界に60の観測点が展開される予定で現在構築中である。各観測点は、それぞれ少なくとも4素子以上の計測装置からなり、アレー観測を行っている。CTBTO Web Site (<http://www.ctbto.org/>)にて公開されている位置情報をもとに作成した。

実験探知や、安全保障を目的とした軍事活動モニタリングを目的として行なわれている。世界規模の定常観測網としては、Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO)に認定された協定観測点60点からなるCTBT-IMSインフラサウンド観測網が構築されており（一部観測点は現在整備中）、極域にも4点の観測点が存在する（図1）。そのほか、軍事活動のモニタリングを目的とした地震・インフラサウンド観測アレーが一部の国において設置されている。しかしながら、これらの観測網は、観測網の性格上データ利用に制限があり、一部のごく限られた研究者のみがデータの利用可能、また観測点間隔が非常に広く、より弱いインフラサウンドを捉えるには不十分であるといった問題がある。インフラサウンドの研究をより詳細に進めていくためには、現在よりも稠密で、理学目的でデータ取り扱いの制限の無い観測網を展開していく必要がある。

南極におけるインフラサウンド観測

極域では、低緯度地域とは異なり、オーロラや氷震、また氷河や氷床の崩壊といった極地特有のインフラサウンド励起源が存在し、非常に興味深いフィールドである。しかしながら、極地であるが故

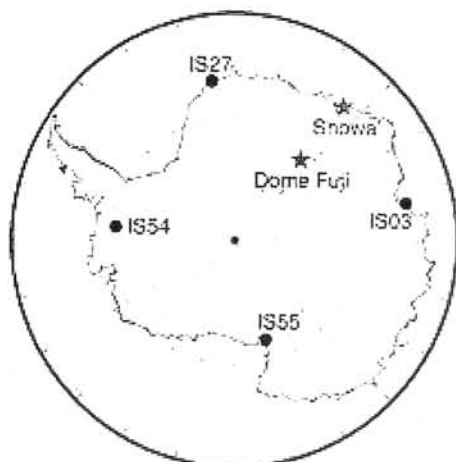


図 2 南極域におけるCTBT-IMSインフラサウンド観測点 (IS03; IS27; IS54; IS55) と昭和基地・ドームふじ基地。



に非常に環境が厳しく、また電力や通信インフラの確保という面から考えても、稠密である程度の空間的な広がりを持った観測網を展開することは非常に難しい。極地での観測点設置の基本方針としては、まずは観測基地をベースとし、その周辺にローカルな数点のアレー観測点からなる観測網を設置するという事となろう。すなわち、日本が主体となって進める観測網の展開に当たっては、まず昭和基地の位置する東オングル島もしくはそのごく周辺に観測点を設置する事となる。昭和基地でインフラサウンドを観測する利点には、電源や通信インフラが整備されている事だけではなく、広帯域・短周期地震計、超伝導重力計、SuperDARNレーダー、全天撮像カメラ等による観測が緊密な連携を保って行われていることがあげられる。地震計や重力計は固体地球の震動を、レーダーは超高層大気の状態を、全天撮像カメラはオーロラを捉えるために運用されている

Schematic Diagram of Array Element (top view)

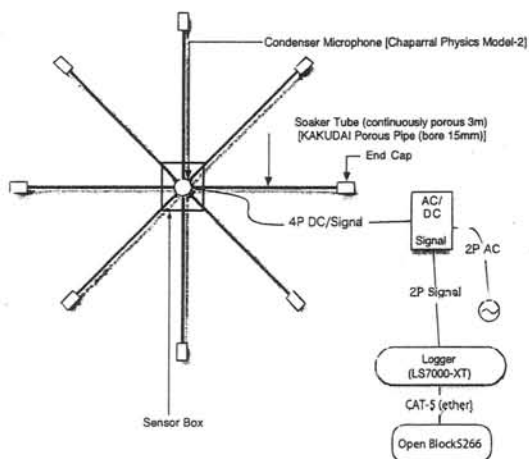


図 3 昭和基地に設置した観測システムの位置・設置作業の風景及び概略図。局地風などのノイズ軽減のため8本の有孔ホースを接続したボックス内にセンサーを設置し、ホース長の範囲内での平均的な微気圧変動を検出する。

が、これらはすべてインフラサウンドとかわり合いのある現象である。上述のような既存の観測に加え、インフラサウンドを同時観測することによって、現象間の関係がよりいっそう明らかになることが期待される。

現在南極では、CTBT-IMS協定観測網に属しアメリカ・ドイツ・オーストラリアの3カ国が運用を担当している4観測点 (IS03; IS27; IS54; IS55) において、定常観測が行われている (図2)。しかし、これら4観測点はすべて南極の沿岸部にあり、また観測点間隔は非常に広い。このため、現状では複数の観測点で励起源が同一のインフラサウンドを検出することは難しいという状況にある。我々は上述の間

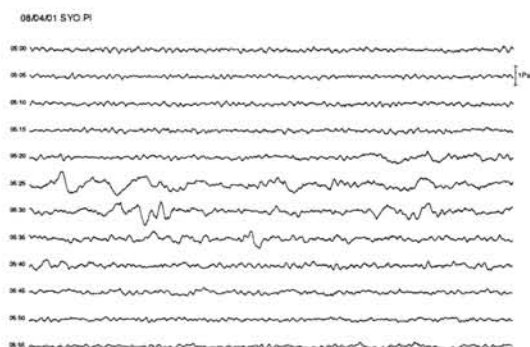
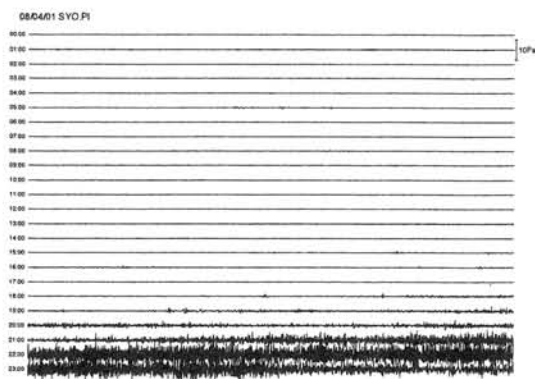


図 4 昭和基地に設置した観測システムにより記録された 2008年4月1日 のインフラサウンド連続波形。左図は1トレース1時間で1日分を、右図は5-6 時台を1トレース10分として拡大した波形である。

題を打破し、さらに極地でのインフラサウンド研究を進めるために、昭和基地周辺およびドームふじ近傍において、日本独自のインフラサウンド観測網を展開することを提案してきた(石原・山本, 2006a; 2006b, 石原・山本・金尾, 2007)。まず3年間程度昭和基地周辺でのパイロット観測を行い、その後、定常観測化・観測点を増強し、多点観測に発展させるといった計画である。

計画の進捗状況であるが、3年間のパイロット観測については、科学研究費補助金若手研究(B)

(H19年度からH21年度の3年間:代表:石原)の補助を受け、49次南極観測から開始している。種々のリソースの問題等により、1台の観測システムを設置するにとどまっているが、観測システム(図3)の極地での性能およびテストや問題点の洗い出しには十分である。また、インフラサウンドの励起された位置をパイロット観測システムのみで決定する事は無理であるが、昭和基地で観測のおこなわれている様々な観測機器のデータと比較する事により、氷震などによるインフラサウンドについては、励起源の特定が可能となると思われる。

パイロット観測の状況であるが、2008年2月より観測を開始し、現在まで装置に問題を起こす事無く観測を継続している。観測データは衛星を用いたインターネット回線で国内からほぼリアルタイムで取得可能である。取得されたインフラサウンドの波形例を図4に示す。18時台よりノイズが増大し、22時台以降は非常に大きな振幅のノイズが入射している事が分かる。現地の気象データを参照する事で、このノイズは強風によるものと同定された。強風によるノイズが卓越する以前には、両側振幅で0.2Pa程度で周波数0.1から0.2Hz程度のシグナルが連続的に記録されている。これは、昭和基地周辺で定常的に励起されるインフラサウンドであると思われる。

パイロット観測終了後、観測システムを増強し、昭和基地周辺にアレー観測点を構築する

と、CTBT-IMS観測網のIS03とIS27のほぼ中間に位置することになり、インフラサウンドの検出能力の向上が期待される。さらに将来ドームふじに同様のアレー観測点を設置すれば、南極内陸における最初のインフラサウンド観測点となる。CTBT-IMS観測点とのデータ相互利用が可能となった場合、昭和基地・ドームふじ、およびIS03もしくはIS27のデータを統合処理すると、アレー間隔1000~2000kmの三角網となり、インフラサウンド励起源の位置決定に際して大変有効であると期待され、特にオーロラが励起源と言われているインフラサウンドの研究に大きな前進をもたらすだろう。また、昭和基地やオングル島近傍の南極大陸沿岸部の複数点においてアレー観測を行なうと、氷震や氷河・棚氷の崩落などによるインフラサウンドの詳細な位置・規模の推定が可能となり、地球環境モニタリングにも大きな威力を発する事が出来るだろう。

参考文献

- 石原吉明・山本真行, 広域アレー観測点ネットワークによるインフラサウンド観測の提案, 月刊地球, 28, 647-651, 2006.
- 石原吉明・山本真行, 南極におけるインフラサウンド観測の提案, 両極域から見た地球内部の不均質構造とダイナミクスに関する研究集會集録(CD-ROM), 16, 2006.
- 石原吉明・山本真行・金尾政紀, 南極におけるインフラサウンド観測計画, 第1回南極研究観測シンポジウム収録(CD-ROM), 2007.

部分溶融を伴う高温変成岩の温度圧力履歴とザクロ石のリンによる組成累帯構造およびリン酸塩鉱物の挙動の関係

河上哲生（京都大）*, 外田智千（極地研）

Linking *P-T* path with the behavior of phosphates and development of phosphorus zoning in garnet during high-temperature metamorphism accompanying partial melting

Tetsuo Kawakami (Kyoto Univ.)*, Tomokazu Hokada (NIPR)

東南極リュツォ・ホルム湾スカレピークスハルセン産ザクロ石-珪線石片麻岩中のザクロ石には、不規則な形状を示すリンのゾーニングが見られる。すなわち、ザクロ石はリン濃度の低いコア（平均：検出限界以下の0.008 wt%）とリン濃度の高いリム（平均：0.036 wt%）に分けられ、その境界はシャープである。コアにはモナズ石、磷灰石、ジルコンが包有されるのに対し、リムには粗粒なモナズ石やジルコンが包有される。磷灰石はザクロ石リムには包有されず、岩石のマトリクス部分にも稀にしか存在しない。ザクロ石中には、時計回りの温度圧力(*P-T*)履歴を示唆する変成鉱物も、システムティックに包有されている。例えば、昇温期のレリックである藍晶石や十字石がザクロ石コアに包有され、リムには珪線石が包有される。ザクロ石のコアとリムから見積もられる *P-T* 条件が、特に圧力について大きく異なり、また、リンのゾーニングによって定義されるコア・リム境界が、多くの場合不規則な形状をしていることから、この境界はザクロ石が連続的に成長して形成されたものではなく、融食・再成長によって形成されたと考えられる。

ザクロ石コアとリムのリン濃度の違いは、コアとリムでの安定なリン酸塩鉱物組合せの変化に伴い、ザクロ石のリン濃度をバッファーする反応が変化したと考えることで説明できるだろう。すなわち、ザクロ石コア成長段階では磷灰石が、ザクロ石リム成長段階ではモナズ石がザクロ石中のリン濃度をバッファーしたのであろう。つまり、部分溶融はザクロ石中のリンのゾーニングを形成するための必要条件ではない。しかし、ザクロ石のコア

形成ステージとリム形成ステージとの間に、磷灰石を不安定にする最も効果的な方法は、このステージにおけるメルトの存在を仮定することである。なぜなら、磷灰石はモナズ石より非常に速くメルトに溶解することが実験的に確かめられているからである (Wolf and London, 1995)。ザクロ石コア形成ステージにおけるメルトの存在は、元々メルトだったと思われる多相包有物がザクロ石コアに包有されていることから支持される (Kawakami and Motoyoshi, 2004)。ザクロ石コア形成ステージからリム形成ステージにかけて、モナズ石やジルコンが粗粒化している事実は、ザクロ石リムの結晶化時にこれらの鉱物もメルトから結晶化したのかもしれない。

1つの岩石試料中のザクロ石に残されたシャープなリンのゾーニングを、複数のザクロ石粒を対比するときの等時面として利用し、かつ、ザクロ石中のリンのゾーニングの形成メカニズムをリン酸塩鉱物の組合せの変化と対応させて考えることで、ザクロ石中の微量元素によるゾーニングをザクロ石-珪線石片麻岩の *P-T* 履歴とリンクさせることができた。1つの試料のみを用いたのは、異なる試料間の全岩化学組成バリエーションがリン酸塩鉱物の挙動に及ぼす影響を最小限にするためである。将来、リン酸塩鉱物をシステムティックに年代測定することで、こうした岩石のより詳細な *P-T-t* 履歴が読みとれるだろう。

Keywords: phosphorus, phosphate, buffer, garnet, monazite, apatite, partial melting

* Corresponding author,

e-mail: t-kawakami@kueps.kyoto-u.ac.jp

磁鉄鉱—チタン鉄鉱地質温度計の超高温変成岩への応用

清水恒子、角替敏昭（筑波大・生命環境）

Application of magnetite-ilmenite geothermometry to ultrahigh-temperature metamorphic rocks

Hisako Shimizu, Toshiaki Tsunogae (Univ. Tsukuba)

超高温変成岩に関する過去の記載岩石学的研究により、斜方輝石中の単斜輝石ラメラ、斜方輝石中のざくろ石ラメラ、石英やざくろ石中のルチルラメラ、斜方輝石中のチタン鉄鉱ラメラ、メソパーサイトなどの様々な離溶組織が報告されている。このような離溶組織の詳細な解析によって、離溶前の単一相鉱物の化学組成推定が可能となり、これは超高温変成作用の変成温度決定のために有効である。例えば Harley (1987) は輝石温度計、Hokada et al. (2001) は長石温度計を用いた方法で温度決定を行っている。磁鉄鉱とチタン鉄鉱は、一般的に高い酸素分圧条件下において形成されたグラニュライト中に存在する造岩鉱物である。チタン鉄鉱と共生する磁鉄鉱中のウルボスピネル成分の含有量は温度の指標となるため、この鉱物組み合わせは火成岩や変成岩の地質温度計や酸素分圧計として広く用いられてきた（例えば Buddington and Lindsley, 1964 など）。本研究では、南インド Achankovil 帯 (ACZ) のピーク変成温度を推定するために、ACZ に産出するざくろ石堇青石片麻岩中の Fe-Ti 酸化物への磁鉄鉱—チタン鉄鉱地質温度計の適用を試みた。

ざくろ石堇青石片麻岩中の磁鉄鉱とチタン鉄鉱は、それぞれ異なる複雑な離溶組織を示し、これらはおそらくピーク変成作用後の冷却時に形成されたと考えられる。磁鉄鉱は、半自形もしくは不規則な形を呈し、ざくろ石や斜方輝石と共生している。磁鉄鉱は半自形のチタン鉄鉱とスピネルを含み、それらは初期の磁鉄鉱から離溶したと考えられる。一方、

同じサンプル内のチタン鉄鉱は磁鉄鉱の薄いラメラをもつ。本研究では Hokada (2001) の方法を用いて、磁鉄鉱とチタン鉄鉱の離溶前の組成を決定した。具体的には、EPMA による反射電子像を用い、離溶している 1 つの粒子中のチタン鉄鉱、磁鉄鉱、スピネルの量比を求めた。鉱物の密度は、 5.2 g/cm^3 (磁鉄鉱)、 4.7 g/cm^3 (チタン鉄鉱)、 4.1 g/cm^3 (スピネル) と推定し、温度と酸素分圧の計算には、Spencer and Lindsley (1981) の方法を用いた。

はじめに、1 つの粒子中の離溶後の磁鉄鉱とチタン鉄鉱を用いて温度の計算を試みた。結果は 550°C 以下となり、これはこの岩石のピーク温度としては著しく低く、おそらく後の冷却ステージにおける再平衡を意味する。対照的に、離溶前の化学組成を用いると非常に高い温度 ($1000\text{--}1100^\circ\text{C}$) が得られ、これは ACZ についての先行研究で得られた $8.5\text{--}9.5 \text{ kbar}$ 、 $940\text{--}1040^\circ\text{C}$ というピーク温度圧力条件 (Ishii et al., 2006) と調和的である。

以上の結果、ACZ から産出したざくろ石堇青石片麻岩中の Fe-Ti 酸化物粒子への磁鉄鉱—チタン鉄鉱地質温度計の適用により、従来の地質温度計により得られた温度と調和的な温度 (約 1000°C) を得ることができた。磁鉄鉱とチタン鉄鉱はさまざまな変成岩や火成岩中の造岩鉱物として存在するため、この手法は超高温グラニュライトのピーク変成温度条件の計算に適用できると考えられる。

南インド Palghat-Cauvery セン断帯に産する
ザクロ石-単斜輝石岩の流体包有物と温度圧力履歴

西宮ゆき・角替敏昭 (筑波大・生命環境)・M. Santosh (高知大・理)

Fluid inclusions and *P-T* trajectory of garnet-clinopyroxene rocks
from the Palghat-Cauvery Shear Zone System, southern India

Yuki Nishimiya, Toshiaki Tsunogae (Univ. Tsukuba), M. Santosh (Kochi Univ.)

南インド Palghat-Cauvery セン断帯(PCSZ)は、北部の始生代 Dharwar クラトンと南部のカンブリア紀グラニュライト帯との境界をなす構造帯であり、汎アフリカ造山運動後期の年代(500-550 Ma)を示すことから、PCSZ に産する高度変成岩は Gondwana 大陸形成後期のステージにおける南インドの地殻進化を解明するための重要な手がかりとなることが期待される。過去の研究では、本地域はエクロジヤイト相に近い高压変成作用($P > 12$ kbar)を受けた後に、超高温変成作用($T = 940-990$ °C)を受け、時計回りの変成温度圧力経路をたどって形成されたと考えられている(Shimpo et al., 2006)。しかし、このような高压の変成作用は PCSZ 内の限られた地域でしか報告されておらず、エクロジヤイト相に近い変成作用の分布範囲はまだ知られていない。そこで本研究では、Paramati で採取したザクロ石-単斜輝石岩の流体包有物と岩石学的データから、PCSZ における高压変成作用の痕跡を検討した。

ザクロ石-単斜輝石岩の鉱物組み合わせは、ザクロ石+単斜輝石±斜長石である。ザクロ石と単斜輝石の間には、後退変成作用時に形成された斜方輝石+斜長石シンプレクタイト組織が観察された。なお、反応組織の解析から、石英はピーク変成作用時に存在していたが、後退変成作用時に消費されたと考えられる。これらの鉱物の化学分析結果から、単斜輝石+斜長石+石英地質圧力計と、ザクロ石+単斜輝石地質温度計を用いた *P-T* 条件は 830-880 °C、11-12 kbar であり、この地域の累進変成ステージのものと推測される。それに対し、ザクロ石+斜長石+単斜輝石+石英地質圧力計では 9.2-9.6 kbar、900 °C となりわずかに低压である。これらの *P-T* 条件は、Koshimoto et al. (2004) によるピーク温度幅よりもわずかに低い。

ザクロ石-単斜輝石岩のザクロ石中の流体包有物を詳細に解析した結果、初生包有物と二次包

有物の二つのタイプが観察された。冷却実験から流体の融点は、初生包有物で -57.6~-57.2 °C、二次包有物で -57.6~-57.4 °C であり、これらは CO₂ に富むと考えられる。均質化温度は、初生包有物で -11.1~+9.4 °C、二次包有物で +4.9~+14.2 °C となり、計算された密度値は初生包有物で 0.866~0.989 g/cm³、二次包有物で 0.828~0.897 g/cm³ であった。これより流体のアイソコア(等密度線)が、900 °C で約 6-7 kbar と計算された。この *P-T* 条件はピークの変成条件と一致するが、地質温度圧力計で計算された累進変成作用の条件よりも著しく低い。ザクロ石にとりこまれた初生包有物の均質化温度が広い幅をもつことから判断すると、このような低压のアイソコアは、高压ステージ($P = 9-12$ kbar, 830-890 °C)から、ピークステージ($T = 950$ °C)に達する間に一部の流体包有物が部分的に破壊され、流体の密度が著しく変化したためであると考えられる。このような流体密度の低下は、高压変成作用を受けた超高温グラニュライトに含まれる流体包有物の特徴である(Ohyama et al., 2008)。

本研究により、PCSZ における広域的な高压($P > 12$ kbar)変成作用とその後の超高温変成作用が裏付けられた。このことは、Gondwana 超大陸の形成に伴うマントル深度(>40 km)に達する地殻物質の沈み込みと関係していると推測される。さらにザクロ石中の流体包有物の測定結果から、これらの高压変成作用において、CO₂ に富む流体が関与していたことが推測される。

引用文献

- Koshimoto, S., Tsunogae, T. and Santosh, M. (2004) J. Mineral. Petrol. Sci., 99, 298-310.
Ohyama, H., Tsunogae, T. and Santosh, M. (2008) Lithos, 101, 177-190.
Shimpo, M., Tsunogae, T. and Santosh, M. (2006) Earth Planet. Sci. Lett., 242, 111-129.

超高温変成岩に含まれる流体包有物の炭素同位体分析 (予報)

角替敏昭 (筑波大・生命環境)

Carbon isotope analysis of fluid inclusions in ultrahigh-temperature metamorphic rocks: preliminary report

Toshiaki Tsunogae (Univ. Tsukuba)

東南極ナピア岩体に代表される超高温変成岩体には、特徴的に CO_2 に富む流体包有物が変成鉱物中にトラップされていることが知られている。これらは初生包有物あるいは擬二次包有物として産出することから、 CO_2 流体はピーク変成作用における鉱物成長時に取り込まれたものと考えられる。したがって、超高温変成作用時には CO_2 に富む流体が卓越していたと考えられる。これら CO_2 流体の存在は、 1000°C を超えるような超高温条件における岩石の熔融を抑制し、超高温変成岩の特徴であるドライな鉱物組み合わせを形成することが知られている。しかしながら、 CO_2 に富む変成流体の起源については、今まで全く議論されていない。予想される起源として、もともと岩石中に存在していた鉱物からの脱ガスあるいは外部から浸透が考えられ、浸透したとすると、近傍の炭酸塩岩、苦鉄質貫入岩、あるいはマントルからの CO_2 の浸透も議論されている。

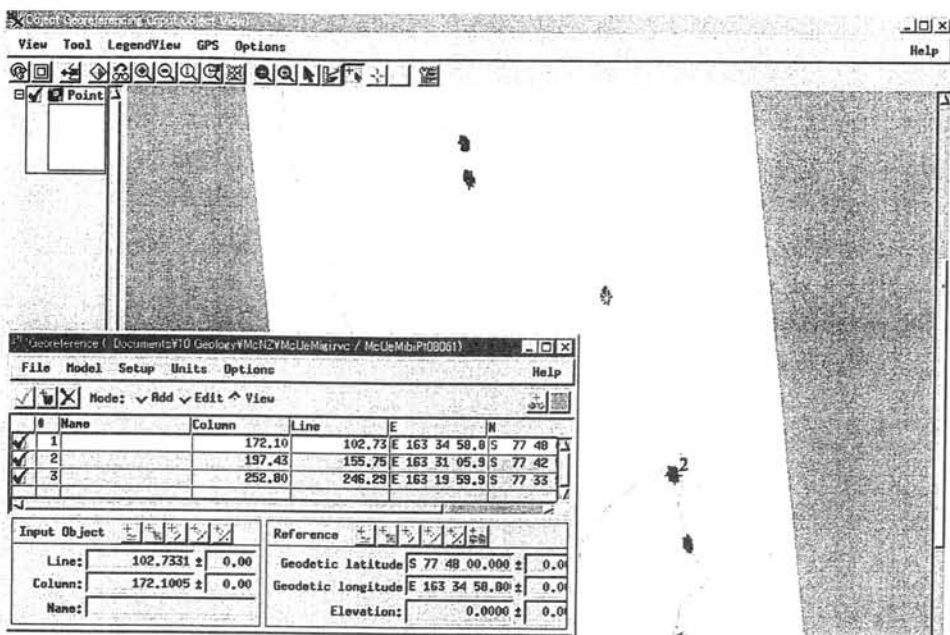
そこで本研究では、ナピア岩体および南インドグラニュライト岩体に産出する代表的な超高温変成岩に含まれる流体包有物の CO_2 を取り出して予察的な炭素同位体分析を行い、その結果をもとに超高温変成流体の起源を考察した。測定は流体包有物を多量に含み、鉱物分離が容易なざくろ石について行った。岩石からざくろ石数グラムを分離し、破壊して CO_2 ガスを抽出し、質量分析を行った。

ナピア岩体の超高温変成岩として、トナ

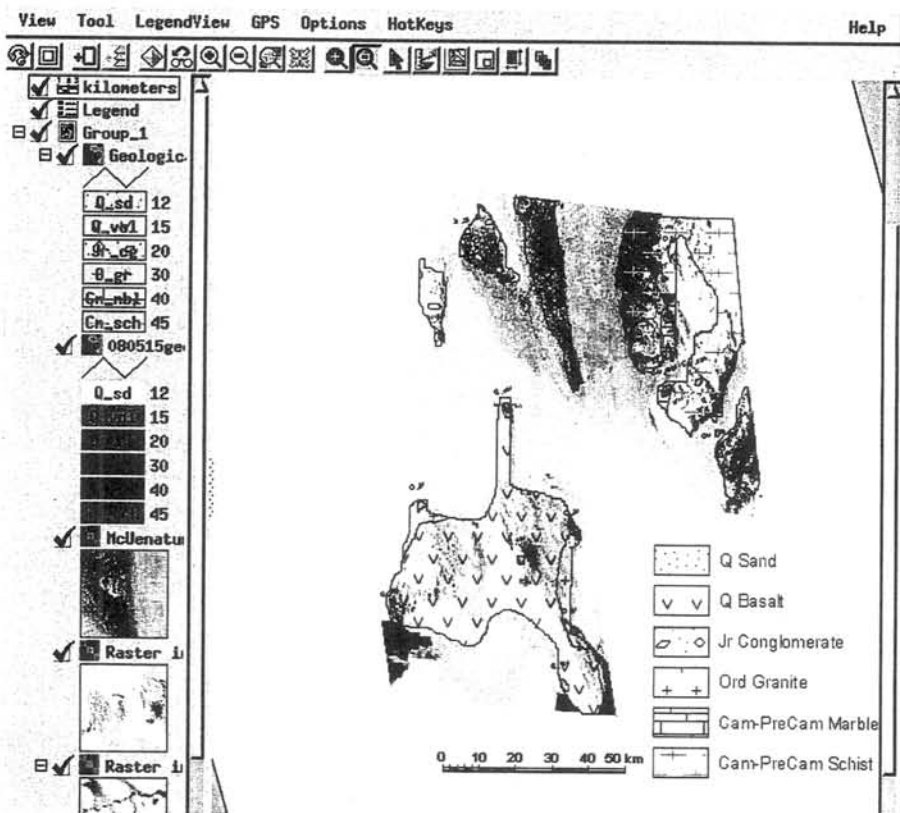
一島のざくろ石-斜方輝石-石英-磁鉄鉱岩(試料 B98022208C)を用いた。この岩石のざくろ石は多量の擬二次包有物を含み、融点の測定結果(-56.7 から -56.4°C)から、これらは CO_2 に富む流体を包有物している。均質化温度および密度は、 -24.8 から $+4.2^\circ\text{C}$ 、 0.96 から 1.03 g/cm^3 であった。分析の結果、 $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$ 値は -16 から -17 という非常に低い値を示した。この値は有機炭素の同位体値(-30 から -10)の幅に相当する。

一方、南インドグラニュライト帯からは、 550 – 530 Ma に変成作用を受けた Palghat-Cauvery 剪断帯のざくろ石-ゼードル閃石岩(試料 MD16-1G)に含まれるざくろ石を測定した。この鉱物に含まれる流体包有物はほとんどが二次包有物であり、ざくろ石形成後の上昇時に外部から浸透してきたものであると考えられる。この二次包有物の融点、均質化温度および密度は、 -56.9 から -56.6°C 、 $+12.9$ から $+30.3^\circ\text{C}$ 、 0.59 から 0.83 g/cm^3 であった。分析の結果、 $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$ 値は -4 から -5 である。これらは、海成炭酸塩(-4 から $+2$)の値とマントル起源の CO_2 (-10 から -5)の中間を示すことから、海成炭酸塩またはマントル、あるいは、その両方の起源の流体の混合が考えられる。

以上のように、流体包有物として含まれる CO_2 の炭素同位体分析により、流体の起源を検討することが可能である。今後はざくろ石以外の鉱物に含まれる流体を検討し、超高温変成作用における流体の役割について総合的に検討する必要がある。



第2図 位置情報を入力する



第3図 地質図

東南極，プリンスオラフ海岸，日の出岬に産出する 泥質片麻岩について

阿部 公一（千葉大・理）・廣井 美邦（千葉大院・理）

Pelitic gneisses at Cape Hinode on the Prince Olav Coast, East Antarctica

Koichi Abe, Yoshikuni Hiroi (Chiba Univ.)

プリンスオラフ海岸東部の日の出岬地域に産出する変成岩類は、周辺のリュツォホルム岩体では見られない以下のような特徴をもつ。

- 1) アダカイト的な組成の変成トーナライトの産出
- 2) 珪線石を置換する藍晶石の産出
- 3) 約 10 億年のジルコン SHRIMP U-Pb 年代値

これら 3 点は、日の出岬地域に産出する変成岩類がリュツォホルム岩体中の異地性岩塊であることを示唆している（Hiroi et al., 2006）。

日の出岬地域の南西部には、少量の石灰珪質岩、角閃岩、ザクロ石を含むペグマタイトを伴って泥質片麻岩（珪線石－ザクロ石－黒雲母片麻岩、ザクロ石－黒雲母片麻岩）が産出する。日の出岬地域の変成岩類の履歴や由来を調べるために、泥質片麻岩の記載岩石学的研究をおこなってきたので、現在までに得られた知見を報告する。

日の出岬地域に産出する泥質片麻岩の主な構成鉱物は、石英、斜長石、ザクロ石、黒雲母、珪線石である。一部の岩石中には藍晶石やアルカリ長石も産出する。各造岩鉱物の産出状況は以下のとおりである。

ザクロ石；ほぼ全ての岩石に産出するが、粒度、形状は岩石ごとに異なる。石英、斜長石、黒雲母、珪線石、コランダム、スピネルなどの鉱物を包有物として含んでいる。また中心部と外側で包有物の種類が異なることがある。

黒雲母；岩石ごとに、色や粒度が異なる。

Al_2SiO_5 鉱物；珪線石が最も普遍的に見られるが、一部の岩石では藍晶石も見られる。紅柱石の産出はまだ確認されていない。珪線石は、ほとんどの岩石中でマトリックスに産出するが、ザクロ石や斜長石中の包有物としても産出する。藍晶石は、一部の岩石で見られ、様々な程度に珪線石を置換した産状を示す（Hiroi et al., 1983）（写真①）。これとは別に、他形の藍晶石が斜長石の包有物として産出するが（写真②）、それは昇温期に形成されたものと考えられる。

十字石；一部の藍晶石と同じように他形で斜長石とザクロ石の包有物として産出する（写真③）。

アルカリ長石；一部の岩石に産出する。その岩石に花崗岩質のプールの発達していることがあり（写真④）、粗粒のアルカリ長石中に石英や斜長石の包有物が見られる（写真⑤）。また、珪線石との共生関係も見られる（写真⑥）。

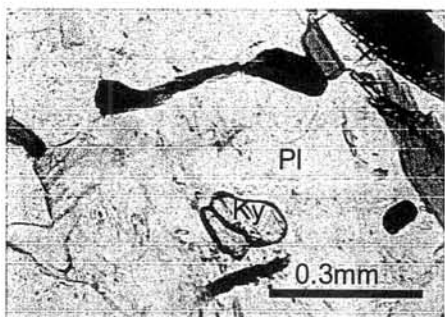
斜長石；ほとんどの岩石で普遍的に見られるが、花崗岩質プールの発達した岩石には、アルカリ長石やザクロ石の包有物として自形で産出することがある（写真⑦）。

以上のことから温度圧力経路について考える。最初に藍晶石の安定領域から珪線石の安定領域へと温度が上昇した。その間に、十字石の消滅反応も進んだ。アルカリ長石＋珪線石の安定領域でピークを迎え、その後藍晶石の安定領域に戻ったと考えられる。また、

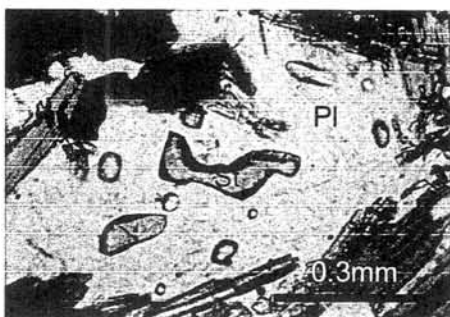
一部の岩石中では部分融解が進行したと考えられる。



① YH04122707B



② YH04122701C

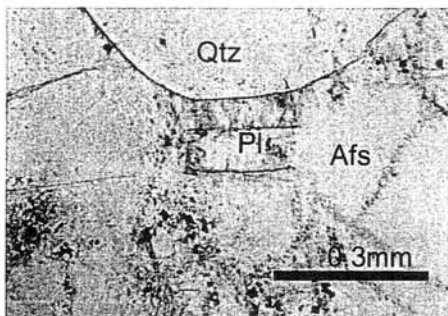


③ YH04122707A

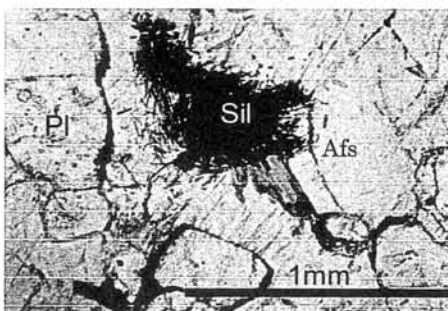
①変形した珪線石がほとんど変形をしていないほぼ自形の藍晶石によって置き換えられている。
②残晶状の藍晶石が斜長石の包有物として産出する。
③残晶状の十字石が斜長石の包有物として産出する。
④花崗岩質プールが見られる。
⑤粗粒のアルカリ長石中に石英と斜長石が包有されている。
⑥珪線石とアルカリ長石が共生している。
⑦ザクロ石中に自形の斜長石が包有されている。



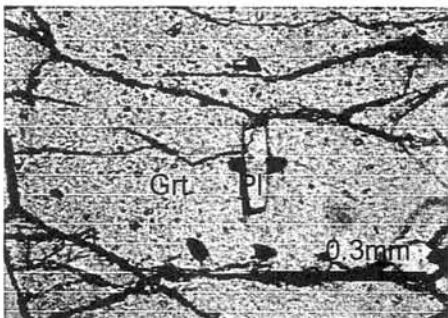
④ 花崗岩質プール



⑤ YH04122709D



⑥ YH04122709D



⑦ YH04122709D

東南極ナピア岩体 Mt. Riiser-Larsen 地域に産する 珪長質片麻岩中の大隅石の形成過程

曾山祐貴・石塚英男 (高知大学地質学教室)

Formation process of osumilite in felsic gneisses from the Mt. Riiser-Larsen
area of the Napier Complex, East Antarctica

Yuki SOYAMA and Hideo ISHIZUKA (Department of Geology, Kochi University)

東南極エンダビーランドに分布するナピア岩体は太古代最後期に超高温変成作用を受けた地質体である。本岩体のリーセルラルセン山 (Mt. Riiser-Larsen) 地域はエンダビーランド北西、アムンゼン湾の東方に位置しており、大隅石、転移したピジョン輝石、サフィリン+石英、スピネル+石英、珪線石+斜方輝石+石英などの鉱物や鉱物組合せが広く産出することで特徴づけられる(Ishizuka et al. 1998)。長石温度計(Hokada 2001)、斜方輝石中のアルミニウム含有量(Harley & Motoyoshi 2000)、転移したピジョン輝石の組成(Ishizuka et al. 1999)、及び超塩基性岩中の斜方-単斜輝石組成(Ishizuka et al. 2002)から、この地域はナピア岩体の最高変成温度域(〜1130℃)に属することが示されている。これらの鉱物および鉱物組合せで、大隅石の安定領域は、低温限界として850〜900℃、圧力限界は8.5〜11.5 kbar 程度であると考えられおり(Motoyoshi et al. 1993; Audibert et al. 1995; Carrington and Harley 1995; Das et al. 2001)、大隅石がサフィリンやザクロ石などと共生する場合、それらは超高温変成作用の指標鉱物組合せになるとされている。しかし、大隅石は世界の超高温変成岩体中でも限られた地域にしか産出しない稀な鉱物であり、その形成過程もよく分かっていない。

今回、リーセルラルセン山地域に産する珪長質片麻岩中の大隅石の産状と他の鉱物の産状より、大隅石の形成過程の考察を行った。大隅石を含む珪長質片麻岩は第38次日本南極地域観測隊によって採取されたもので、鉱物の化学組成分析には国立極地研究所のEPMAを使用させて頂いた。

大隅石を含む珪長質片麻岩の主な構成鉱物は、大隅石、石英、ザクロ石、斜方輝石、黒雲母、珪線石で、サフィリンを少量伴っている。珪線石とサフィリンはザクロ石中の包有物としてのみ産出する。比較的大きな試料 (15×25 cm²) では、斜方輝石、ザクロ石、黒雲母などの有色鉱物に富む優黒質な部分と、石英、大隅石などから構成される優白質な部分との層構造が認められる。

ザクロ石は産状から3タイプに区分される。タイプ1(最大粒径1cm程度)は結晶が伸長しており、石英、黒雲母、そして珪線石やサフィリンを特徴的に包有する。タイプ2(粒径1-3mm程度)は半自形で融食形を示す。タイプ3(粒径0.3-0.5mm程度)は大隅石中に包有され、自形を呈している。ここでは、これらのザクロ石の中でも最もタイプの異なる、タイプ1とタイプ3のザクロ石について述べる。タイプ1のザクロ石は核部に珪線石やサフィリンを包有し、周縁部では石英を包有する。このことより、タイプ1のザクロ石が成長する過程で有効全岩組成(effective bulk composition)がアルミに富むものからシリカに富むものへ変化したことが示唆される。これらのザクロ石は核部と周縁部で包有する鉱物種が異なるが、化学組成はほぼ均一であり、Fe、Mg、Caの組成累帯構造はほとんど認められない(Prp51-55)。一方、タイプ3のザクロ石は大隅石中のみに見られ、包有物を含まず自形を呈する。周縁部でCaの含有量が低くなる組成累帯構造が見られるが、Fe、Mgの組成累帯構造はほとんど認められない(Prp46-47)。タイプ1とタイプ3のザクロ石の化学組成に明瞭な違いはないが、それらの産状

や包有物より、形成時期や有効全岩組成に違いがあったと考えられる。

Representative electron microprobe analyses of constituent minerals

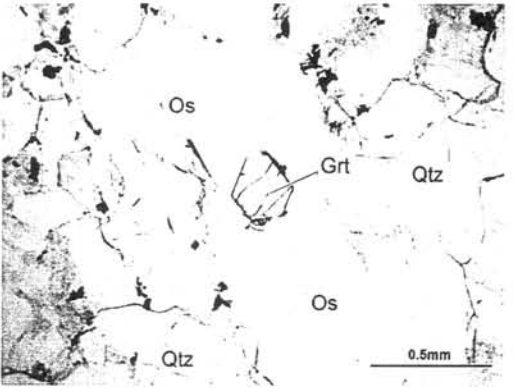
	Os	Spr	Opx core	Opx rim	Bt
SiO ₂	62.07	13.61	47.85	49.28	41.84
TiO ₂	0.02	0.04	0.36	0.09	3.36
Al ₂ O ₃	23.12	61.99	12.39	10.46	13.04
Cr ₂ O ₃	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00
FeO	2.02	7.78	16.64	16.20	2.99
MnO	0.03	0.00	0.10	0.05	0.00
MgO	8.05	16.63	23.21	23.91	23.82
CaO	0.01	0.00	0.10	0.08	0.02
Na ₂ O	0.37	0.00	0.01	0.02	0.18
K ₂ O	4.31	0.00	0.00	0.01	10.36
F	---	---	---	---	3.75
Cl	---	---	---	---	0.02
Total(wt%)	100.06	100.05	100.67	100.09	97.80
XMg	0.88	0.79	0.71	0.72	0.93

	Grt type1	Grt type2	Grt type3
SiO ₂	41.31	40.21	39.98
TiO ₂	0.00	0.01	0.06
Al ₂ O ₃	23.18	22.86	22.25
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00
FeO	23.06	21.34	24.44
MnO	0.20	0.06	0.18
MgO	14.33	14.29	12.32
CaO	0.82	0.90	0.62
Na ₂ O	0.00	0.02	0.00
K ₂ O	0.02	0.00	0.01
Total(wt%)	102.92	99.69	99.84
Prp	0.52	0.53	0.46
XMg	0.53	0.54	0.47

大隅石は優白質な部分に 0.5 - 2.0mm 程度の大きさで、周囲を石英によって囲まれた自形の結晶として産出する。大隅石はザクロ石と接するが、包有されることはなく、珪線石やサフィリンと接することほとんどないことから、タイプ1のザクロ石が形成された後に大隅石が形成されたと考えられる。またタイプ3の自形のザクロ石が大隅石中にしか存在しないこと、そして大隅石が石英中に自形の結晶として存在することから、これらは珪長質のメルトから晶出した可能性が考えられる。

以上をまとめると、黒雲母+斜方輝石+珪線石+石英の安定領域から、ザクロ石+堇青石+カリ長石+石英の安定領域へ温度が上昇、さらに温度は上昇し続け堇青石+カリ長石でメルトを生成、タイプ3のザクロ石がメルトから晶出し、その後に同じくメルトから晶出した自形の大隅石によって取り囲まれ、

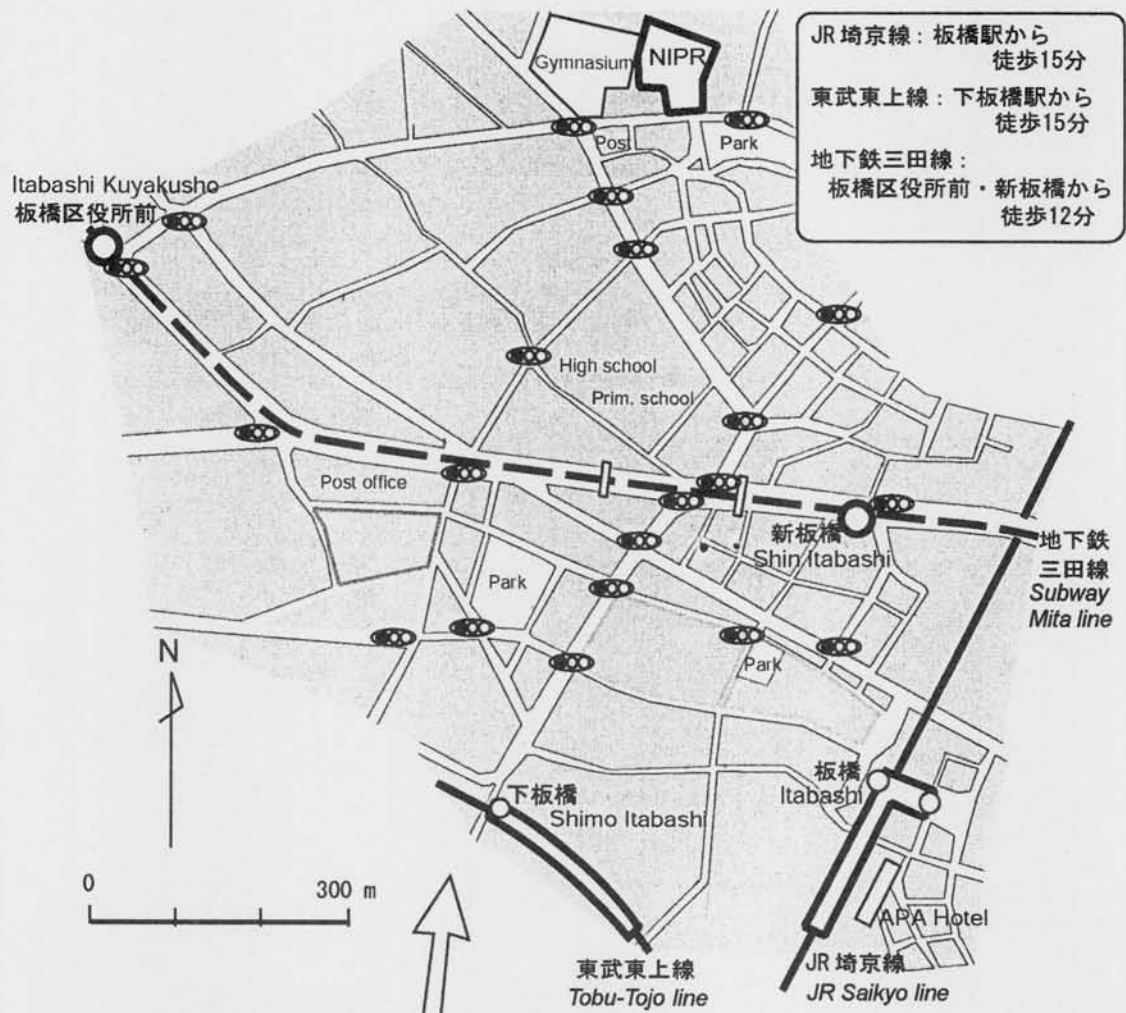
最終的には大隅石+ザクロ石の安定領域へ達したと考えられる。



図：大隅石珪長質片麻岩中の周囲を石英に取り囲まれて産出する自形の大隅石と自形のザクロ石。
(Grt：ザクロ石、Os：大隅石、Qtz：石英)

引用文献

Ellis, D. J., 1987. *Geology*, **15**, 167-170.
Harley, S. L., 1989. *Geological Magazine*, **126**, 215-247.
Harley, S. L. & Motoyoshi, Y., 2000. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **138**, 293-307.
Hokada, T., 2001. *American Mineralogist*, **86**, 932-938.
Hollis, J. & Harley, S. L., 2002. *Antarctica at the close of a Millennium Proceedings Volume 8th International Symposium on Antarctic Earth Sciences*, Royal Society of New Zealand Bulletin, **35**, 19-29.
Ishizuka, H., Ishikawa, M., Hokada, T. & Suzuki, S., 1998. *Polar Geoscience*, **11**, 154-171.
Ishizuka, H., Yoshida, T. & Suzuki, S., 1999. *Abstracts of the 19th Symposium on Antarctic Geosciences*, Tokyo, 41.
Ishizuka, H., Suzuki, S. & Nakamura, A., 2002. *Polar Geoscience*, **15**, 1-16.
Motoyoshi, Y. & Hensen, B. J., 1989. *European Journal of Mineralogy*, **1**, 467-471.
Osana, Y., Toyoshima, T., Owada, M., Tsunogae, T., Hokada, T., Crowe, A. W. & Kusachi, I., 2001. *Polar Geoscience*, **14**, 1-24.
Sandiford, M. & Powell, R., 1986a. *American Mineralogist*, **71**, 946-954.
Sandiford, M. & Powell, R., 1986b. *Earth and Planetary Science Letters*, **79**, 151-158.



国立極地研究所 地図研究グループ 〒173-8515 東京都板橋区加賀 1-9-10
 極地研ホームページ: <http://www.nipr.ac.jp/>
 第28回極域地学シンポジウム: <http://polaris.isc.nipr.ac.jp/~geo/jp/index.htm>

